

# werkdocument

I

r  
19320



# werkdokument

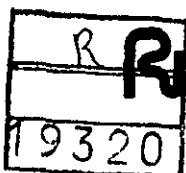
I

**zwevende stof en licht in water**

door e.h.s. van duin, a. oldenkamp, a.m.t. kuijpers

**1988 - 1 cbw**

werkdokumenten zijn als regel eerste versies van te schrijven rapporten (uittypen geschreven tekst) en daardoor uitsluitend bestemd voor intern gebruik; de verantwoordelijkheid voor de tekst berust bij de auteur.



postbus 600  
8200 AP IJlstad  
smedinghuis  
zuiderwagenplein 2  
tel. (03200) 99111  
teleex 40115

<b>Inhoud</b>	<b><u>Blz.</u></b>
<b>Samenvatting</b>	3
<b>1. Inleiding</b>	4
<b>2. Theoretische achtergrond</b>	5
2.1. Stralingsenergie	5
2.2. Gesuspendeerde stof	8
<b>3. Meetmethoden</b>	10
3.1. Stralingsenergie	10
3.2. Extinctie	10
3.3. Slibgehalte en slibsamenvatting	11
<b>4. Uitvoering en resultaten</b>	13
4.1. Experiment A	13
4.2. Experiment B	17
<b>5. Conclusies</b>	24
5.1. Lichtmetingen en extinctie	24
5.2. Fractiegrootte en extinctie	25
5.3. Slibmetingen	29
5.4. Eindconclusies	32
<b>Literatuurlijst</b>	33
<b>Bijlagen</b>	
A. Symbolenlijst	34
B. Figuren	36

## SAMENVATTING

Om een aantal relaties te kunnen kwantificeren ten behoeve van het Markermeer/Westelijke randmeren model, zijn een aantal laboratoriumproeven uitgevoerd met in het Markermeer verzameld materiaal. Tijdens de belangrijkste proef is de relatie tussen de extinctiecoëfficiënt bepaald met een spectrofotometer en de extinctiecoëfficiënt berekend uit lichtmetingen. Tevens is tijdens deze proef een klasse-indeling naar bezinktijden gemaakt van het gesuspendeerde materiaal en is de bijdrage aan de spectrofotometrische bepaalde extinctiecoëfficiënt per klasse berekend. Voor alle bovengenoemde relaties zijn lineaire verbanden afgeleid met hoge correlatiecoëfficiënten. Door opgetreden complicaties bij het vaststellen van de meetrange, zijn slechts een beperkt aantal gegevens betrouwbaar. Gezien de hoopgevende resultaten verdient het aanbeveling de experimenten in een verbeterde vorm te herhalen.

Herhaaldelijk is tijdens een aantal experimenten getracht de pas in gebruik zijnde slibsensoren te ijken. Uiteindelijk is daarvoor een succesvolle methode vastgesteld, die meerdere malen per jaar herhaald dient te worden.

## 1. Inleiding

Voor het in ontwikkeling zijnde Markermeer/Westelijke-randmeren-model is het van belang de zwevende stof in het oppervlaktewater te karakteriseren en te kwantificeren. Tevens dienen relaties gelegd te worden tussen het zwevend materiaal in de waterfase en de lichtuitdoving.

In het in ontwikkeling zijnde model wordt het zwevende stofgehalte in water gekoppeld aan resuspensie en sedimentatie processen. Voor de simulatie van het zwevende stofgehalte is het noodzakelijk het vaste materiaal in fracties te onderscheiden. Voor elke fractie kan dan een relatie gelegd worden tussen de turbulentie in de waterkolom en het gehalte. Om gegevensmateriaal te kunnen verzamelen zijn er ideeën gevormd over de eventueel toe te passen meetmethoden. Enerzijds kunnen monsters genomen worden die geanalyseerd worden naar totaal drooggewicht en asrest en naar b.v. totaal drooggewicht per fractie. Anderzijds kunnen continu registrerende sensoren worden bevestigd in het te onderzoeken oppervlaktewater, het Markermeer, die een meer continu beeld geven van de zwevende stof in de waterkolom.

In een volgende modelstap dient een verband gelegd te worden tussen het zwevende stofgehalte in het water (in fracties) en het voor algen beschikbare licht. Om modeltechnische redenen dient de bijdrage van elke fractie aan de uitdoving van zonlicht in water bepaald te worden. In het Markermeer wordt continu de instraling gemeten. De vraag is of deze metingen gerelateerd kunnen worden aan in laboratorium bepaalde extincties per fractie en of er een relatie te leggen is tussen de continu gemeten extinctie en de continu gemeten zwevende stofgehaltenes.

Om inzicht in deze materie te krijgen zijn een aantal experimenten uitgevoerd in het Smedinghuis. In dit document is getracht de achtergrond van de vraagstelling, de opzet van de experimenten en de resultaten in het kort te beschrijven. Daarnaast zijn de gegevens geïnterpreteerd en zijn ideeën gevormd over de in de toekomst te volgen werkwijzen.

In dit document komen de volgende zaken aan de orde:

- a. het ijken van de slibconcentratie meters, d.w.z. het leggen van een verband tussen de met de sensoren gemeten waarden en de resultaten van laboratoriumanalyses.
- b. het leggen van een relatie tussen zwevende stofgehalten en de met continuumeters geregistreerde extincties.
- c. het leggen van een relatie tussen de extinctie, gemeten met continu registrerende lichtmeters en de extinctie, gemeten in een spectrofotometer.
- d. het uittesten van een onorthodoxe wijze om fractiegroottes in zwevende stof te bepalen.
- e. het berekenen van een bijdrage aan de extinctie van verschillende fracties zwevend materiaal.

De metingen verricht voor b. t/m e. lopen dwars door elkaar. Punt a. staat achteraf wat buiten de rest van de materie en is voornamelijk behandeld in paragraaf 4.2 en 5.3.

## 2. Theoretische achtergrond

Bij het meten van slibgehaltenes met behulp van slib-extinctiemeters en lichtintensiteiten aan de hand van quantum-lichtmeters, spelen tal van factoren een rol die het interpreteren van de meetgegevens bemoeilijken. In de volgende paragrafen is getracht een korte uiteenzetting te geven van de factoren die een rol kunnen spelen.

### 2.1 Stralingsenergie

Van het totale zonnestralingsspectrum wordt het deel met golflengte tussen 300 en 3000 nm de korte golfstraling genoemd. De golflengte van zichtbaar licht loopt van 400 tot 700 nm. Alleen de fractie tussen 390 en 700 nm dringt door in water. Dit komt ongeveer overeen met 45 à 50 % van de totale hoeveelheid ingestraalde energie. In de waterkolom wordt een deel van de ingestraalde energie geabsorbeerd.

De golfstraling kan ondermeer worden gekarakteriseerd aan de hand van de:

#### a. Lichtintensiteit

De lichtintensiteit kan gemeten worden met fotocellen. De gevoeligheid van deze cellen varieert met de golflengte. Lichtintensiteit wordt aangegeven met het symbool  $I$  en uitgedrukt in  $W/m^2$ .

$$W/m^2 = J/m^2s = 1.43 \cdot 10^3 \text{ cal/cm}^2\text{min}$$

#### b. Stralingsenergie

De stralingsenergie van een bepaalde stralingsbron is het aantal energie quanta dat wordt uitgezonden. De stralingsenergie kan gemeten worden met een quantummeter, zoals een pyrano- of een solarimeter. Een lichtquantum wordt een foton genoemd, met een quantummeter wordt de Photon Flux Density (=PFD) gemeten. De energie van een foton is omgekeerd evenredig met de golflengte van het licht. De stralingsenergie wordt weergegeven met het symbool  $R$  (radiation) en uitgedrukt in  $\mu\text{mol}/m^2s$ . In dit document zal de stralingsenergie steeds worden weergegeven door het symbool  $R$ .

$$1 \text{ mol} = 6.022 \cdot 10^{23} \text{ fotonen}$$

$$\mu\text{mol}/m^2s = \mu\text{Einstein}/m^2s = \mu E/m^2s$$

De verhouding tussen de lichtintensiteit en de stralingsenergie is afhankelijk van de golflengte. Voor elke golflengte geldt een bepaalde omrekeningsfactor, zo geldt bij 555 nm;  $1 W/m^2 = 4.15 \mu\text{mol}/m^2s$ . Bij lagere golflengten is deze groter, bij grotere golflengten lager. Aangezien dit een lineair verloop heeft tussen de 400 en de 700 nm, kan gesteld worden dat de omrekeningswaarde  $4.15 \mu E/W.s$  bij benadering geldt voor het gehele gebied tussen de 400 en 700 nm, mits de stralingsenergie evenredig over het hele spectraal gebied verdeeld is.

De instraling van licht in water wordt op drie manieren beïnvloed:

#### a. reflectie aan het oppervlak.

Voor zonnestraling is de reflectie groter naarmate de invalshoek kleiner wordt, dus bij lage zonnestanden. Tevens varieert de reflectie voor de verschillende golflengten;

b. verstrooiing door organische en anorganische deeltjes

De verstrooiing is groter voor kortere golflengten en het meest effectief voor deeltjes waarvan de diameter ongeveer overeenkomt met de golflengte;

c. absorptie door water en door opgeloste en gesuspendeerde stoffen

Enkele voorbeelden van beïnvloeding zijn:

- \* Straling in het gebied van het infra rood licht, wordt in water sterk geabsorbeerd. Dus  $\epsilon$ -ir is groot.
- \* In zuiver water is de extinctiecoëfficiënt voor groen licht (460-480 nm) het laagst;  $\epsilon$  -groen = 0.015 /m.
- \* Uitdoving vindt plaats door opgeloste stoffen, die met name de kortere golflengten (400-500nm) absorberen.
- \* Gesuspendeerde stoffen verstrooien en absorberen licht. Dit is afhankelijk van de deeltjesgrootte en de golflengte van het opvallende licht.
- \* Naarmate het gehalte aan opgeloste en gesuspendeerde stoffen in water toeneemt, neemt ook de golflengte van de "most penetrating component" toe. Dat is dat deel van het spectrum dat het verst in het water doordringt.

Als gevolg hiervan zal de spectrale opbouw van licht in water met toenemende diepte, meer verschillen dan de opbouw van zonlicht.

De afname van monochromatisch licht in water is weer te geven middels de extinctie-coëfficiënt,  $\epsilon$ , gedefinieerd door de wet van Lambert-Beer:

$$I_z = I_0 \cdot \exp(-\epsilon \cdot z) \quad \Leftrightarrow \quad \ln(I_z) = \ln(I_0) - \epsilon \cdot z \quad (2-a)$$
$$\Leftrightarrow \quad \epsilon = \frac{\ln(I_0) - \ln(I_z)}{z}$$

$I_z$	= lichtintensiteit op diepte $z$	(W/m <sup>2</sup> )
$I_0$	= lichtintensiteit net onder het oppervlak	(W/m <sup>2</sup> )
$\epsilon$	= extinctiecoëfficiënt	( /m)
$z$	= diepte	(m)

N.B. Voor  $I_z$  en  $I_0$  kunnen ook respectievelijk  $R_z$  en  $R_0$  ( $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ ) worden ingevuld. Het resultaat blijft dan hetzelfde.

De lichtintensiteit op diepte  $z$ ,  $I_z$ , kan verschillende betekenissen hebben. Zo kan sprake zijn van de verticale, de maximale of de totale lichtintensiteit op diepte  $z$ . In dit document stelt  $I_z$  steeds de verticale instraling voor, gedefinieerd als de lichtintensiteit die op een horizontale plaat op diepte  $z$  valt.

Voor een gegeven golflengte is  $\epsilon$  een constante.

De extinctie, of wel de extinctie-coëfficiënt, van licht in water (= de uitdoving) is sterk afhankelijk van:

a. De golflengte van het ingestraalde licht.

De golflengte wordt beïnvloed door de klimatologische omstandigheden en de reflectie.

b. Aanwezigheid van opgeloste en gesuspendeerde stoffen.

De invloed varieert met de deeltjesgrootte, samenstelling, vorm, etc.

De sommatie van de extinctie-coëfficiënten van het geheel aan gebruikte golflengten van een lichtbundel in een homogeen medium, geeft de extinctie-coëfficiënt van de hele lichtbundel,  $\epsilon$ .

In werkelijkheid zal de instraling in een meer niet alleen rechtstreeks afkomstig zijn van de zon, maar ook via de hemel, + 30%. Ook de stand van de zon varieert met als gevolg een niet volledige verticale instraling. Volgens Poole en Atkins (Hutchinson, 1957, hfdst. 6) kunnen deze variaties worden verwaarloosd. Zij berekenen de "verticale" extinctie-coëfficiënt met formule 2-a.

In de extinctie-coëfficiënt is zowel de afname van licht in water door absorptie als door verstrooiing verdisconteerd. Alle deeltjes en opgeloste stoffen bezitten een eigen  $\epsilon$ -absorptie en  $\epsilon$ -verstrooiing. Alle absorptie en verstrooiing tezamen geeft  $\epsilon$ .

Opgedeeld in categorieën kan de extinctie-coëfficiënt geschreven worden als:

$$\epsilon = \epsilon_w + \epsilon_{s'} \cdot SS + \epsilon_{a'} \cdot AA \quad (2-b)$$

$\epsilon_w$	= extinctiecoëff. voor het water en de daarin opgeloste stoffen	( /m)
$\epsilon_{s'}$	= afgeleide extinctiecoëff. voor slib	(m <sup>2</sup> /g)
$\epsilon_{a'}$	= afgeleide extinctiecoëff. voor algen	(m <sup>2</sup> /μg chla)
SS	= slibgehalte	(g/m <sup>3</sup> )
AA	= hoeveelheid algenmateriaal	(g chla/m <sup>3</sup> )

N.B. In het algemeen, wordt voor  $\epsilon_{a'}$  een vaste waarde aangehouden;  
 $\epsilon_{a'} = 0.015 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\mu\text{g chla}$ .



## 2.2 Gesuspendeerde stof

In oppervlaktewater spelen zich verschillende processen af, die de hoeveelheid en samenstelling van de in het water aanwezige gesuspendeerde stoffen beïnvloeden. Deze processen zijn op te splitsen in ruwweg drie categorieën;

- a. de toe- en afvoer van zwevende stof,  
— horizontaal transport, resuspensie, sedimentatie;
- b. fysische en chemische processen in de waterfase,  
— coagulatie, flocculatie, precipitatie;
- c. biologische productie- en afbraakprocessen,  
— algeengroei, graas.

De aard en de oorzaak van deze processen zijn hier verder niet behandeld. Getracht is een overzicht te geven van de aard van de fluctuaties in slibsamenstelling en hoeveelheid en de gevolgen die dit heeft voor het meten en interpreteren van slibgehalten met slibmeters, wier meetprincipe gebaseerd is op het meten van extincties.

Gesuspendeerde stof is de vaste stof, die gedurende korte of lange tijd in de waterfase verblijft. Met de term zwevende stof wordt hetzelfde bedoeld. De hoeveelheid gesuspendeerde stof wordt weergegeven met het symbool SS (=Suspended Solids) en uitgedrukt in g/m<sup>3</sup> (totaal droog gewicht/m<sup>3</sup>).

Gesuspendeerde stoffen kunnen bestaan uit organisch en/of anorganisch materiaal. Veelal wordt onder slib het anorganische gedeelte van de vaste stof verstaan, in dit document wordt deze nomenclatuur niet gevolgd. In dit rapport staat slib voor het totaal aan organische en anorganische stof dat in het water aanwezig is.

Indien alleen de anorganische fractie van de zwevende stof bedoeld wordt, is dit uitdrukkelijk vermeld, onder de naam arrest.

In de sedimentologie is de volgende sedimentklasse-indeling gebruikelijk, die gebaseerd is op deeltjesgrootte:

Tabel 2-a  
Klasseïndeling sediment naar deeltjesgrootte

klasse	diameter (d)
gravel/grind	2 mm < d < 63 mm
zand	63 µm < d < 2 mm
silt	16 µm < d < 63 µm
afslibaar silt	2 µm < d < 16 µm
lutum	d < 2 µm

Om de deeltjesgrootte van slib te bepalen, zijn drie veel gebruikte methoden voorhanden:

### 1. ZEVEN

Het zeven van vaste stof kan zowel nat als droog uitgevoerd worden. Nat zeven verdient de voorkeur indien in het slib veel kleine lutumdeeltjes voorkomen, omdat coagulatie bij nat zeven minder optreedt. Deze methode wordt toegepast voor deeltjes met een diameter van minimaal 50  $\mu\text{m}$ .

### 2. SEDIMENTATIE EXPERIMENTEN

Deze methoden zijn gebaseerd op het principe dat deeltjes met een verschillende diameter, met een verschillende snelheid zullen bezinken, mits zij hetzelfde soortelijk gewicht hebben. Een van de verbanden tussen de deeltjesgrootte en de bezinksnelheid wordt beschreven door de Wet van Stokes. Deze wet beschrijft de bezinksnelheid voor bolvormige deeltjes in een laminair stromingsveld ( $Re < 0.5$ ).

$$W_s = \frac{(\rho_p - \rho) \cdot g \cdot d^2}{18 \cdot \mu} \quad (2-c)$$

$W_s$	= bezinksnelheid	(m/s)
$\rho_p$	= dichtheid van de deeltjes	(kg/m <sup>3</sup> )
$\rho$	= dichtheid van het water	(kg/m <sup>3</sup> )
$g$	= gravitatieversnelling	(m/s <sup>2</sup> )
	= 9.81	(m/s <sup>2</sup> )
$d$	= diameter van de deeltjes	(m)
$\mu$	= dynamische viscositeit	(kg/ms)
	= $1.0 \times 10^{-3}$ (20 oC), $1.8 \times 10^{-3}$ (0 oC)	(kg/ms)

Niet bolvormige deeltjes bezinken over het algemeen langzamer dan bolvormige deeltjes.

Meetmethoden die zijn gebaseerd op differentiele bezinking zijn:

- a. Pipet-methode;
- b. Hydrometer-methode.

Op de werkwijze en toepassing van de Pipet-methode is nader ingegaan in paragraaf 3.3.

### 3. COULTER-COUNTER METHODE

Deze methode is gebaseerd op het principe dat deeltjes gesuspendeerd in een elektrolyt oplossing, de hoeveelheid elektrolyt ter grootte van hun eigen volume innemen. De suspensie wordt door een nauwe opening tussen twee elektroden gevoerd. De weerstandverandering is proportioneel aan het volume van de passerende deeltjes. Het aantal weerstandsfluctuaties per tijdstap geeft het aantal deeltjes weer.

De methode kan gebruikt worden voor deeltjes waarvan de diameter ligt in de range van 1  $\mu\text{m}$  tot 1000  $\mu\text{m}$ .

### 3 Meetmethoden

Door het grote aantal factoren dat de zwevende-stof-samenstelling in het water beïnvloedt en het complexe gedrag van licht in water, is er een grote discrepantie aanwezig tussen wat men wil weten en wat praktisch gezien mogelijk is om te meten. Getracht is de parameters die de lichtinstraling en gesuspendeerde-stof-samenstelling karakteriseren zo nauwkeurig mogelijk te meten. De methoden en hun tekortkomingen die voor dit doel zijn aangewend, zijn beschreven in de volgende paragrafen.

#### 3.1 Stralingsenergie

De lichtmetingen zijn allen uitgevoerd met Under-Water-Quantum-sensoren, merk LI-COR, nummer LI-192SB, gekoppeld met een LI-188B Integrating Quantum Radiometer/Photometer van hetzelfde merk. De sensoren zijn speciaal geschikt voor het meten van onderwater of atmosferische Photon Flux Density. Deze quantummeters, die dus de stralingsenergie meten, hebben een meetbereik van 400 tot 700 nm. en zijn speciaal geschikt voor het meten van Photo Active Radiation (=PAR). Op de meetwaarden wordt automatisch een cosinus correctie uitgevoerd. Deze correctie wordt uitgevoerd voor de straling die onder een hoek in het water valt en door de meter niet geregistreerd wordt. De sensoren zijn lineair voor straling in de range van 0 tot 10.000  $\mu\text{E}/\text{m}^2$ . Maximale afwijking ligt in de orde van 1%. De gevoeligheid van het instrument bedraagt 0.001  $\mu\text{E}/\text{sm}^2$ . Een relatieve fout in de orde van 5% wordt veroorzaakt doordat de spectrale respons van de sensor niet overeenkomt met de ideale respons. De stralingsbron waarbij de meter gecalibreerd is komt niet overeen met de stralingsbron van de meting. De sensoren zijn gecalibreerd met een bepaald soort halogeenlampen, waarvan geen nadere specificaties bekend zijn.

- Als stralingsbron is gebruik gemaakt van twee soorten lichtbronnen;
- a. Een TL-bak met twee Philips TL-57 lampen. Het getal 57 staat voor de kleur van het uitgestraalde licht. Dit is wit licht met een zelfde kleurindruk als zonlicht, maar waarschijnlijk niet dezelfde spectrale opbouw. Zonlicht heeft een continu spectrum, terwijl een dergelijke TL-lamp vaak slechts van enkele golflengten licht uitzendt.
  - b. Een dag-licht-lamp zoals deze gebruikt worden in kassen om de plantengroei te bevorderen.

#### 3.2 Extinctie

Extinctie-coëfficiënten worden bepaald uit lichtmetingen en berekening met de wet van Lambert-Beer. Dit kan door zelf lichtmetingen te doen en vervolgens de extinctie-coëfficiënt te berekenen met behulp van formule 2, of door middel van speciale apparatuur, zoals een spectrofotometer. Bij een spectrofotometer maakt men gebruik van twee cuvetten. De een is gevuld met de te meten voeistof, in dit geval Markermeerwater, de tweede is gevuld met de referentie-vloeistof, in dit geval gedestilleerd water. Aan de hand van een lichtbron wordt het verschil in transmissie

tussen de beide cuvetten gemeten. Met een spectrofotometer is het dus alleen mogelijk de bijdrage aan de extinctie van een waterige vloeistof door andere stoffen te meten en niet de achtergrond extinctie van de watercomponent. Aangezien bij de aanwezige spectrofotometer geen mogelijkheid tot roeren bestaat, kunnen enkel extincties van bezonken of gefiltreerde monsters op nauwkeurige wijze bepaald worden.

Van een door te meten monster is de extinctie bepaald tussen de 300 en de 800 nm, met een stapgrootte van 50 nm.

De gemiddelde extinctie-coëfficiënt van een monster,  $\epsilon_{\#}$ , is het rekenkundig gemiddelde van de extincties gemeten tussen de 400 en de 700 nm.

Er van uit gaande dat de achtergrondextinctie, i.e. de extinctie-coëfficiënt van water met de daarin opgelost stoffen,  $\epsilon_w$ , een constante waarde heeft, kan deze op verschillende manieren bepaald worden:

- a.  $\epsilon_w$  kan bepaald worden door het meten van de extinctie van gefiltreerd water. Dit kan met behulp van lichtmetingen en de wet van Lambert-Beer of met behulp van een spectrofotometer, waarbij gecorrigeerd dient te worden voor de extinctie van de watercomponent.
- b.  $\epsilon_w$  kan berekend worden uit formule 2-b.  
In dat geval dienen  $\epsilon$ , AA, SS,  $\epsilon_a'$ ,  $\epsilon_s'$  bekend te zijn. Dit kan gebeuren door extinctiemetingen en droge stof bepalingen te doen.
- c.  $\epsilon_w$  kan geschat worden uit formule 2-b door gebruik te maken van lineaire regressie methoden. Dit kan bijvoorbeeld indien alleen verschillende waarden voor  $\epsilon$ , SS en AA bekend zijn. Voor  $\epsilon_a'$  kan de waarde  $0.015 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/g chl-a worden genomen. Met behulp van lineaire regressiemethoden kunnen de optimale waarden voor  $\epsilon_w$  en  $\epsilon_s'$  berekend worden.

### 3.3 Slibgehalte en slibsamenstelling

#### SLIBGEHALTE

Bij waterkwaliteitsonderzoek wordt in het algemeen het zwevende stof gehalte gemeten door van een monster het totaal drooggewicht en de asrest te bepalen.

Om het slibgehalte continue te meten is gebruik gemaakt van een MEX-3 suspended solids meter van het merk EUR-CONTROL en een RD-120/25 meetsonde, samen de slibmeter genoemd. De golflengte van de lichtemitterende diodes bedraagt 880 nm. De lichtcellen zijn silicium fotodiodes, compleet met interferentie filter.

De meting is gebaseerd op een 4 lichtbanen principe, zie bijlage B.1. Dit betekent dat een automatische correctie wordt toegepast indien aanslag op een van de meetcellen optreedt. Het kan nodig zijn de sonde af te schermen van andere lichtbronnen.

#### SLIBSAMENSTELLING

De bezinksnelheid of de deeltjesgrootteverdeling van slib wordt veelal bepaald met de zogenaamde pipet-methode. Deze methode is gebaseerd op

het principe dat door veranderingen in slibconcentraties in een bezinkende suspensie te meten, men inzicht krijgt in de grootte van een fractie met een bepaalde bezinktijd. Op verschillende tijdstippen worden uit een bezonken cilinder kleine volumes gepipetteerd.

In het algemeen wordt voor Bodemkundige doeleinden de organische stof verwijderd met waterstofperoxide en de aanwezige kalk met zoutzuur. De tijdstippen om te pipetteren worden aan de hand van temperatuur, soortelijk gewicht e.d., berekend met de wet van Stokes.

Na het afhevelen van het zout wordt met een Na-complex de oplossing gestabiliseerd. De bezinksnelheid van het anorganische gedeelte wordt zo gemeten en men kan uitgaan van een soortelijk gewicht van  $2.65 \times 10^3$  kg/m<sup>3</sup> van het slib.

Voor het Markermeersediment en zeker voor de gesuspendeerde stoffen in het water is deze methode niet geschikt. Het organische stof gehalte van gesuspendeerd materiaal uit het Markermeer bedraagt gemiddeld 35 %. Het is aannemelijk dat indien het materiaal geoxideerd zou worden, de deeltjesgrootteverdeling en de bezinkeigenschappen van het materiaal zodanig veranderd worden dat deze niet representatief zijn voor de in situ voorkomende eigenschappen. De bezinksnelheden zullen in praktijk veel lager liggen, aangezien het soortelijk gewicht van organische stof veel kleiner is dan van geoxideerd slib. Om deze redenen is besloten de bezinkproeven uit te voeren met ongeoxideerd slib in natuurlijk Markermeerwater. Een probleem dat nu optreedt is dat het soortelijk gewicht niet bekend is; Hiervan zijn schattingen gedaan; er is uitgegaan van een dichtheid tussen de 1100. en 1500. kg/m<sup>3</sup>, WL 1980. Het ongeoxideerd bezinken van slib heeft als nadeel dat coagulatie en flocculatie een grotere rol zullen spelen. In werkelijkheid treden dergelijke processen ook op.

De deeltjesgrootteverdeling is gemeten door van een aantal proeven monsters te gieten in 1 liter cylinders met een aftaptuitje. Na een bepaalde bezinktijd wordt het bovenstaande water afgeheveld en met zijn eventuele duplo's gemengd. Er is dus niet een dunne waterschijf afgepipetteerd, maar 25 cm water afgeheveld. Van deze oplossing is onmiddellijk de extinctie en het droge stof gehalte bepaald. De achtergebleven suspensie is in een monsterfles gebracht en hiervan wordt de totale hoeveelheid droge stof bepaald. In onderstaande tabel zijn de gemeten bezinktijden en de hoeveelheid monster die er ongeveer voor gebruikt zijn aangegeven. Tevens is in deze tabel aangegeven de fractiegrootte in relatie tot het soortelijk gewicht, volgens formule 2-c.

Tabel 3-a  
Bezinktijd en fractiegrootte

bezink- tijd	monster- hoev.	diameter deeltjes		
		SG 2650	SG 1500	SG 1200 kg/m <sup>3</sup>
26 min.	1 liter	< 16 µm	< 29 µm	< 46 µm
99 min.	2 liter	< 8 µm	< 15 µm	< 23 µm
26 uur	3 liter	< 2 µm	< 3 µm	< 6 µm

Door met natuurlijk materiaal te werken is het wel mogelijk om de bijdrage van elke fractie aan de lichtuitdoving te meten. Dit is uitgevoerd door van een bezonken fractie van het afgeheveld water de extinctie te meten.

#### 4. Uitvoering en resultaten

Om de juiste wijze te vinden om water en slib uit het Markermeer in te zamelen, is het volgende experiment uitgevoerd. Met behulp van een waterpompje is aan het oppervlakte van het Markermeer, ter hoogte van Lelystad-haven, water opgezogen.

Vanaf het dek van een boot is slib afgezogen van de bodem van het meer met behulp van een stofzuigermond en een centrifugaalpompje. De stofzuigermond is op zijn kop gehouden waardoor slib is opgewoeld. Het opgewoelde slib is opgezogen en verzameld in een groot vat. Na een dag bezinken is het bovenstaande water afgeheveld. Van het residu is het totale droge stofgehalte bepaald en de asrest, deze suspensie is verder aangeduid met S1. Het totaal drooggewicht van deze suspensie bedroeg 17.2 g/l, waarvan 14.4 g/l uit anorganisch materiaal bestond.

Voor de uitvoering van het eigenlijke experiment is deze monsternamen herhaald, de daarbij verzamelde slib suspensie is verder aangegeven met S2. Het totale drooggewicht en de asrest van S2 werden pas bekend na de uitvoering van het experiment. Tijdens het experiment is aangenomen dat het droge stofgehalte van S1 en S2 ongeveer even groot was, achteraf bleek deze aanname onjuist.

Bij latere experimenten is nauwkeuriger gelet op de samenstelling en concentratie van het verzamelde materiaal. Door selectieve inname is getracht de hoeveelheid lutum in het monster te minimaliseren en de suspensie vrij dun te houden.

##### 4.1 Experiment A

In een bak met een inhoud van ongeveer  $2 \text{ m}^3$  is de slibsensor gemonteerd.

De lichtmeters zijn gelijk door deze allen op dezelfde afstand van een lamp te houden. Dit is gedaan met een TL-bak met twee TL-57-lampen, en met een zogenaamde dag-licht-lamp, boven water ("in air"). De meetwaarden zijn weergegeven in tabel 4-a. De derde lichtcel bleek onbetrouwbare waarden te geven en is verder buiten het experiment gehouden. Uit de verschillen in meetwaarden zijn omrekeningsfactoren afgeleid, waarmee de gevonden meetwaarden in elkaar kunnen worden omgerekend.

Tabel 4-a  
Controle lichtcellen

sensor	$\epsilon$ ( $\mu\text{E}/\text{Wm}^2$ )		Cgem
	TL-bak	daglichtlamp	
Bovenwatercel	25.	68.	1.1
Onderwatercellen			
L1	17.	50.	2.0
L2	17.9	49.	2.0
L3	-	-	-
Handmeter	26.3	72.	-

$$C_{gem} = \frac{\epsilon(HM) \cdot C_{uw}}{\epsilon(L)} \quad (4-a)$$

- $C_{gem}$  = verhouding tussen handmeet- en continu meetwaarde (-)  
 $\epsilon(HM)$  = extinctie gemeten met de handmeter (/m)  
 $\epsilon(L)$  = extinctie gemeten met continu sensoren (/m)  
 $C_{uw}$  = omrekeningsfactor voor onderwatermetingen (-)  
 = 1.35

Vervolgens zijn de onderwaterlichtsensoren van de continue metingen aan een verticale stang vastgemaakt. De afstand van de meetcel tot het wateroppervlak bedraagt:

- L1 : - 7 cm  
 L2 : -39 cm  
 L3 : -84 cm

Boven het wateroppervlak is de bovenwater lichtsensor aangebracht, op een afstand van 20 cm boven de waterspiegel. De handmeter is zodanig bevestigd dat hij op dezelfde diepten kan worden gehangen als de continu meters. De bevestigingsdraadjes waarmee dit gebeurt is zullen de meting enigzins verstoord hebben.

Aan kettingen zijn de twee stralingsbronnen aan het plafond bevestigd; het betreft de TL-bak met twee TL-S7-lampen en de dag-licht-lamp. De lampen kunnen om beurten worden aangezet. Door middel van een centrifugaal pomp en verbindingsslangen kan het water in de bak in beweging worden gehouden en gemengd. De bak is gevuld met Markermeerwater. Naast de bak staan twee voorraadvaten opgesteld, waarvan een is gevuld met opgezogen slib en een met Markermeerwater.

In bijlage B.2 is een schets van de meetopstelling gepresenteerd.

Voor de slibmeter is de range ingesteld. De nulwaarde is gelijk gesteld aan de uitdoving in gedestilleerd water. De 100%-waarde is ingesteld met behulp van een 1 op 100 verdunde slibsuspensie, samengesteld uit Markermeerwater en suspensie S2, streefconcentratie 172. mg/l. De verdunde suspensie is geanalyseerd op droge stof gehalte.

Gedurende de hele proef heeft de centrifugaalpomp gedraaid. De proef is in stappen uitgevoerd. Bij elke stap zijn een aantal metingen verricht. Elke stap verschilt van de vorige doordat een bepaalde hoeveelheid slibsuspensie (S2) is toegevoegd. Per stap zijn de volgende metingen verricht:

- bij TL-licht, meting met de onderwatercellen L1 en L2 en met de handmeter op drie diepten;
- bij licht van de dag-licht-lamp, meting met de onderwatercellen L1 en L2 en met de handmeter op drie diepten;
- meting met de slibmeter;
- analyse van totaal-drooggewicht, asrest en chlorofyl-a-gehalte;
- extinctie bepalingen tussen 350 en 800 nm van de (stapgrootte 50 nm) suspensies.

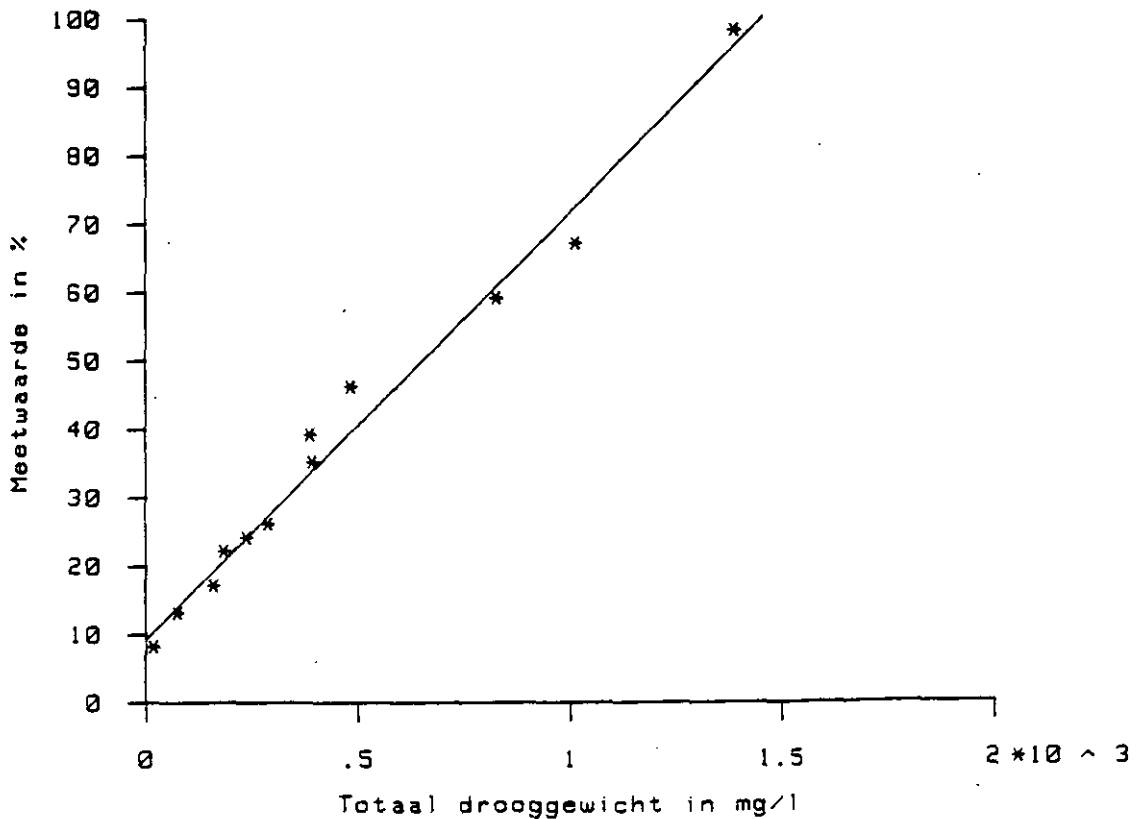
De resultaten van meetseries a, b en e zijn weergegeven in tabel 4-b, de resultaten van c en d in tabel 4-c en in figuur 4-a.

De eerste meetserie is uitgevoerd met in de bak Markermeerwater zonder slibtoevoegingen, aangegeven in tabel 4-b en 4-c met nummer 1. Per stap is slib toegevoegd, stap 2 t/m 11. Nummer 0 geeft de 100 % instelling van de slibmeters weer en komt alleen voor in tabel 4-c.

Tabel 4-b  
Resultaten lichtmetingen experiment A

stap	TL-bak			dag-licht-lamp			lamp $\epsilon$ /m	spec $\epsilon \#$ /m
	L1 $\mu E/m^2s$	L2 $\mu E/m^2s$	$\epsilon$ (TL) /m	L1 $\mu E/m^2s$	L2 $\mu E/m^2s$	$\epsilon$ (DL) /m		
1	16.7	5.8	3.3	41.0	14.7	3.2	3.3	4.5
2	13.0	1.6	6.5	29.9	3.6	6.6	6.6	10.1
3	8.9	(1.0)	(6.8)	23.5	1.3	9.0	9.0	17.1
4	8.0	-	-	18.6	(0.9)	(9.5)	-	22.9
5	6.6	-	-	14.3	-	-	-	30.2
6	(5.9)	-	-	(13.3)	-	-	-	(33.4)

In de tabel staan onder L1 en L2 de gemiddelde waarde van de handmeter en de lichtcel, op respectievelijk diepte -7 en diepte -39 cm.  $\epsilon$  geeft de gemiddelde extinctie van de beide lampen en  $\epsilon \#$  de over het interval 400 tot 700 nm gemiddelde extinctie, zoals deze bepaald is met de spectrofotometer.



figuur 4-a  
IJking slibconcentratie meter A  
Het aantal meetpunten bedraagt 12, de correlatie-coëfficiënt 0.992.  
Regressielijn;  $SS' = 9.26 + 0.062.SS$



Tabel 4-c  
Resultaten slibmetingen experiment A

stap	SS' %	SS mg/l
0	98	1389.
1	8	20.
2	13	78.
3	17	164.
4*	22	187.
5	24	240.
6	26	291.
7*	35	397.
8	39	392.
9*	46	487.
10	59	829.
11*	67	1014.

In tabel 4-c staan van de verschillende stappen de met de slibmeter gemeten procentuele zwevende stofconcentratie, SS', en het in het lab bepaalde totaal drooggewicht van het bijbehorend monster.

Bij een aantal van de stappen is getracht de deeltjesgrootteverdeling te bepalen, volgens de in hoofdstuk 3 aangegeven methoden. De stappen waarbij dit heeft plaatsgevonden zijn in de tabel 4-c gemerkt met een \*. De resultaten van deze analyses zijn weergegeven in tabel 4-d. Voor de berekening van de deeltjesgrootte is uitgegaan van een dichtheid van 1200 kg/m<sup>3</sup>, zie tabel 3-a, dit is een willekeurige keuze en niet gebaseerd op meetresultaten.

Tevens is van de verschillende grootteklassen de extinctie met behulp van de spectrofotometer bepaald. De gemiddelde extinctie over 400 tot 700 nm, is weergegeven met ε#, zie paragraaf 3.2.

Als controle op de nauwkeurigheid van de meting is bij bezinking niet alleen het drooggewicht in het afgehevelde bezonken water bepaald, SS, maar tevens het drooggewicht van het residu. Deze waarde vermeerderd met SS van de betreffende fractie geven SST. Bij nauwkeurige meting dient SST gelijk te zijn aan het drooggewicht van het onbezonken monster, de verhouding tussen beiden wordt uitgedrukt door C2.

$$C2 = \frac{SST(\text{betreffende fractie})}{SS(\text{oorspronkelijk monster})} \quad (4-b)$$

$$C2 = \text{factor} \quad (-)$$

$$SST = \text{totaal drooggewicht in bezonken monster} + \text{residu} \quad (\text{g/m}^3)$$

$$SS = \text{zwevende stofgehalte in water} \quad (\text{g/m}^3)$$

tabel 4-d  
Resultaten deeltjesgroottebepaling experiment A

		stap 4	stap 7	stap 9	stap 11
<b>Onbezonden</b>					
SS	mg/l	187.	397.	487.	1014.
AS'	%	78.	82.	79.	81.
ε#	/m	22.8	48.3	66.1	98.
<b>&lt; 46 μm</b>					
SS	mg/l	126.	207.	214.	251.
SS'	%	67.	52.	44.	
SST	mg/l	182.	376.	502.	1038.
C2	-	.97	.95	1.03	1.02
AS'	%	72.	74.	75.	76.
ε#	/m	20.9	37.0	38.6	44.1
<b>&lt; 23 μm</b>					
SS	mg/l	71.	101.	99.	100.
SS'	%	38.	25.	20.	
SST	mg/l	198.	338.	469.	1012.
C2	-	1.06	.85	.96	1.00
AS'	%	71.	73.	77.	75.3
ε#	/m	15.2	24.2	21.3	22.1
<b>&lt; 6 μm</b>					
SS	mg/l	31.	29.	29.	31.
SS'	%	17.	7.	6.	
SST	mg/l	175.	419.	493.	965.
C2	-	.94	1.05	1.01	.95
AS'	%	71.	72.	69.	68.
ε#	/m	5.9	7.6	8.8	8.8

#### 4.2 Experiment B

##### Experiment B.1

Na het bekend worden van de analyses van totaal drooggewicht van het proefexperiment A bleek dat het bereik van de meter niet juist was ingesteld. Inmiddels waren ook de twee in bestelling zijnde slibmeters ontvangen en ook deze dienden geijkt te worden.

Daarom is op 12-5-'87 wederom een slib suspensie (S3) en water verzameld uit het Markermeer en hiervan is een monster aangeboden aan het laboratorium. Het totaal drooggewicht bedroeg 14.3 g/l waarvan de asrest 12.1 g/l besloeg en het organisch materiaal dus 2.2 g/l. Het chlorofyl-a gehalte was 158 μg/l. Na het bekend worden van deze analyses is op 15-5-'87 de ijkprocedure voortgezet, verder aangegeven met experiment B.1.

In cilinder glazen (inhoud 6 l.) gevuld met Markermeerwater is een van te voren berekende hoeveelheid S3 gedaan om een monster te krijgen met een bepaalde streefconcentratie, zie tabel 4-e. Voor het ijken zijn de volgende streefconcentraties getracht te verkrijgen: 100, 200, 300, 450 en 600 mg/l. Om en om zijn de slibmeters in de cilinders gehangen. Om een homogeen mengsel te krijgen is tijdens het meten geroerd, met be-

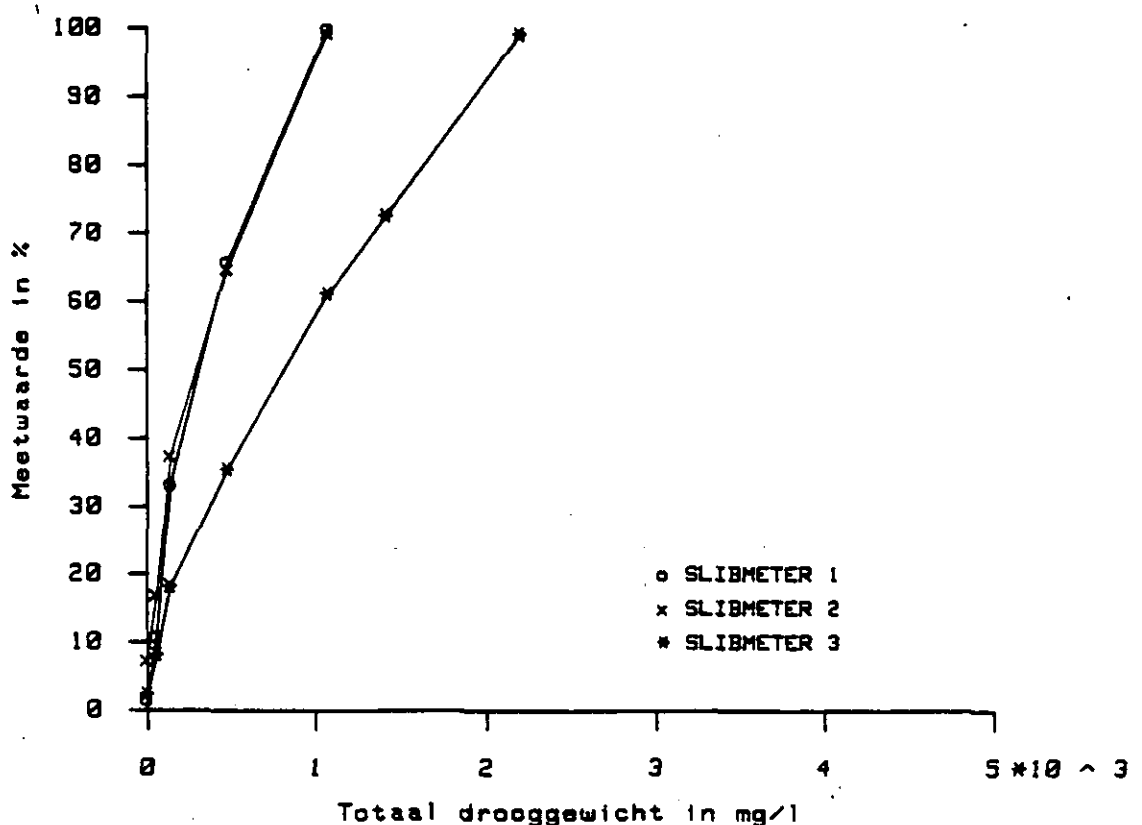
hulp van een mechanisch roerwerk.

Voor het instellen van de meters is de voorgeschreven procedure gebruikt, zie bijlage B.3. Na instelling zijn de slibmeters in de andere streefconcentraties gehangen en zijn de waarden hierbij afgelezen op het display. Om het mengsel homogeen te houden is er tijdens de metingen geroerd. Van de streefconcentraties is na het iken het asvrij-droog gewicht en het chlorofyl-a gehalte bepaald. In tabel 4-e is een en ander weergegeven:

Tabel 4-e  
Resultaten ijking slibmeters B.1

stap	SS mg/l	AS mg/l	AS' %	chl-a µg/l	sensor (%)		
					I	II	III
demi-water	-	-	-	-	1.8	7.5	2.3
M	57.9	43.0	74.	37	11.0	17.1	8.1
S3	14,300.	12,100.	85.	158	-	-	-
1	141.7	115.4	81.	-	33.4	37.6	18.1
2	479.8	420.0	88.	-	66.0	65.0	35.3
3	1075.0	961.0	89.	-	100.0	99.5	61.0
4	1415	1269	90.	-	-	-	72.5
5	2198	1991	91.	-	-	-	99.0

Het via analyses verkregen gesuspendeerde stoffengehalte en de meetwaarden, verkregen met behulp van de slibmeters, zijn uitgezet in figuur 4-b.



Figuur 4-b  
Ijking slibconcentratimeters B1

Volgens de fabrikant moet het verband tussen de waarden van de sensoren en het droge stof gehalte in het water een rechte lijn geven. Over de invloed van de concentratierange is niets bekend. In grafiek 4-b is dit niet het geval. De oorzaak kan gezocht worden in de inhomogeniteit van de mengsels ondanks het gebruik van een roerwerk. Door de sterke geconcentreerdheid van de Markermeersuspensie (S3) zijn bij het maken van de streefconcentraties grote verschillen ontstaan.

Daarom is op 26-6-'87 de ijkprocedure herhaald, experiment B2. De wijze van uitvoering van deze ijking verliep analoog aan die van experiment B1. Een aantal details zijn veranderd. Zo zijn de plastic-cilinders vervangen door glazen stopflessen met een grotere diameter (inhoud 5 l) en is uitgegaan van een dünnere basissuspensie. De sensoren zijn enigzins gevoelig voor achtergrondstraling. Door de flessen met behulp van een doek af te schermen, is getracht deze invloed te reduceren. Ook is de wijze van het aanmaken van een monster met een bepaalde streefconcentratie gewijzigd. Werd er bij de vorige ijking een hoeveelheid Markermeersuspensie aan de 6 l Markermeerwater toegevoegd, nu is met behulp van de onderstaande formule de streefconcentratie tot stand gekomen waarbij het uiteindelijke resultaat een hoeveelheid van 5 liter met verschillende concentraties opleverde.

MASSABALANS:

$$M \cdot V1 + Ss \cdot V2 = Sc \cdot V3 \quad (4-c)$$

$$V1 = V3 - V2 \quad (4-d)$$

M	=	gehalte in Markermeerwater	(g/m3)
V1	=	hoeveelheid Markermeerwater	(m3)
V2	=	hoeveelheid slibwater	(m3)
Ss	=	gehalte in slibwater	(g/m3)
Sc	=	streefconcentratie	(g/m3)
V3	=	hoeveelheid mengsel	(m3)

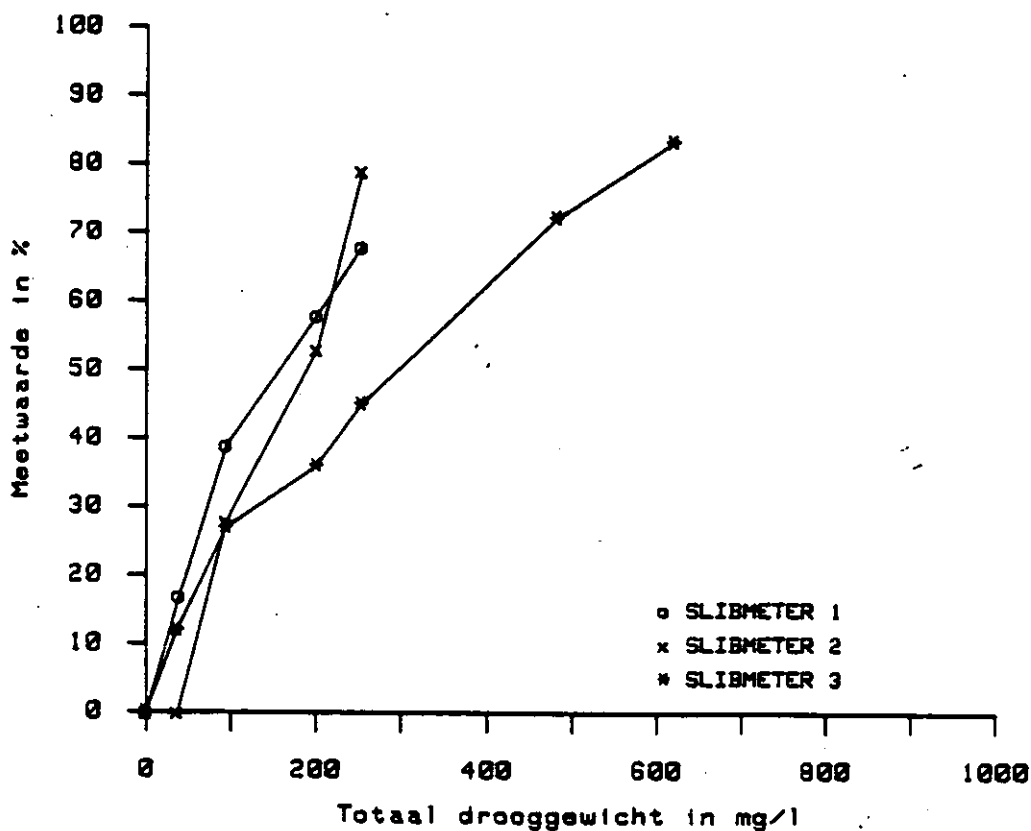
De resultaten van experiment B2 zijn weergegeven in tabel 4-f. Alleen de op het oog betrouwbare metingen zijn weergegeven.

Tabel 4-f  
Resultaten experiment B2

stap	SS mg/l	AS mg/l	AS' %	chl-a µg/l	SS' (%)		
					I	II	III
M 1)	39.0	21.7	56.	66	17.	-	12.
M 2)	36.9	23.6	64.	-	-	-	-
S4	1,200.	1,000.	83.	134	-	-	-
1	94.9	72.7	77.	-	39.	28.	27.
2	201.2	166.6	83.	-	58.	53.	36.
3	254.3	206.8	81.	-	68.	79(93)	45.
4	481.8	414.6	86.	-	-	-	72.
5	620.	525.	85.	-	-	-	83.

M 1) en M 2) zijn duplo's

De instelling van de meters is wederom gebeurd volgens bijlage B.3. In figuur 4-c is het zwevende stofgehalte, bepaald door analyse, uitgezet tegen de meetwaarden in %, verkregen met de slibmeters.



figuur 4-c  
IJking slibconcentratiemeters B2

Tijdens de uitvoering van de ijking is gebleken dat het moeilijk is om het mengsel homogeen te krijgen en te houden. De fluctuaties in de waarden die de sensoren aangaven, konden oplopen tot 14 % tijdens een enkele meting. Wederom is de verkregen lijn in de grafiek niet recht. Met andere woorden, als de stelling van de fabrikant betreffende lineaire verbanden juist is, is het onbetrouwbaarheidsinterval van de meter te groot.

### Experiment B.3

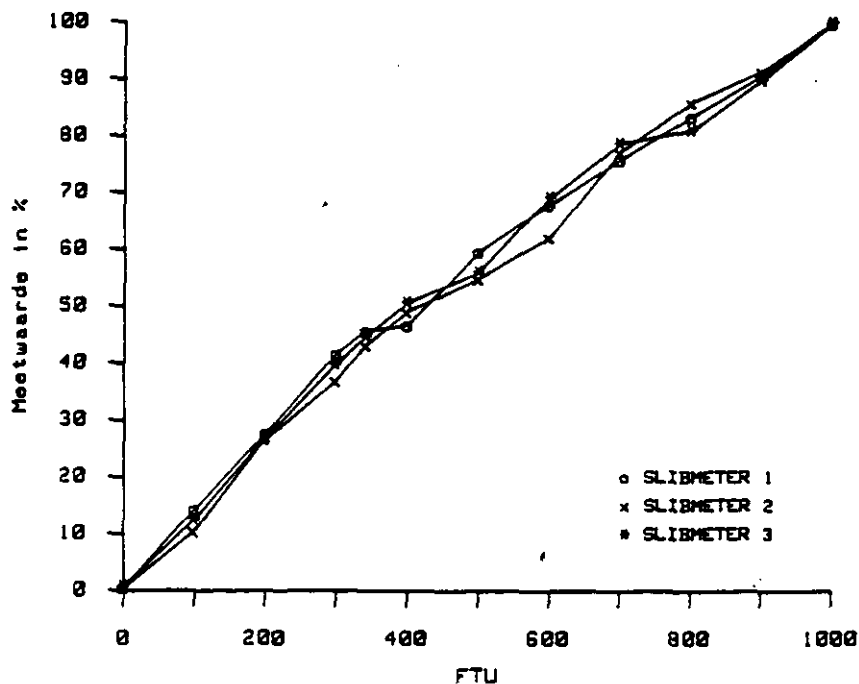
Na deze niet tevredenstellende resultaten begon er twijfel te rijzen over de werking van de slibmeters. Resultaten van een experiment met kaoliniet uitgevoerd door het WL, met eenzelfde sensor leverde wel lineaire verbanden op. Contact is opgenomen met dhr. Van den Ouden van de Dienst Getijde Wateren, die de slibmeters (mede) had aanbevolen. Met zijn hulp is op 9-7-'87 het experiment herhaald (experiment B.3.). Het probleem van het niet homogeen zijn van het mengsel is opgelost door gebruik te maken van een speciaal opwervel-mengvat, afkomstig van de directie Noordzee en een grote magneetroerder. Om de werking van de slibmeters te testen zijn de sensoren in een oplossing met Hexylamine + Hydrazinesulfaat (FORMAZINE) van verschillende concentraties gehangen. Deze stof bevat de eigenschap dat alle deeltjes ervan even groot zijn en dat de deeltjes een zeer lage bezinksnelheid hebben, waardoor het mengsel langer homogeen blijft. De concentratie van deze stof is uitgedrukt in

Formazine Turbidity Units (FTU). In onderstaande tabel worden de concentraties met de daarbij behorende displaywaarden weergegeven.

Tabel 4-g  
Resultaten experiment B3, FORMAZINE

FTU's	sensoren		
	I	II	III
0	0.7(0.7)	0.7(0.5)	0.7(0.7)
100	14.3	10.5	12.5
200	27.7	26.7	26.9
300	41.6	36.9	39.7
342	45.7	43.2	44.7
400	46.6	49.0	50.5
500	59.5	54.8	55.9
600	67.8	62.1	69.0
700	75.6	77.0	78.4
800	83.2	85.7	80.7
900	90.2	91.0	89.4
1000	99.4	99.7	99.5

In grafiekvorm geeft dit het volgende beeld.



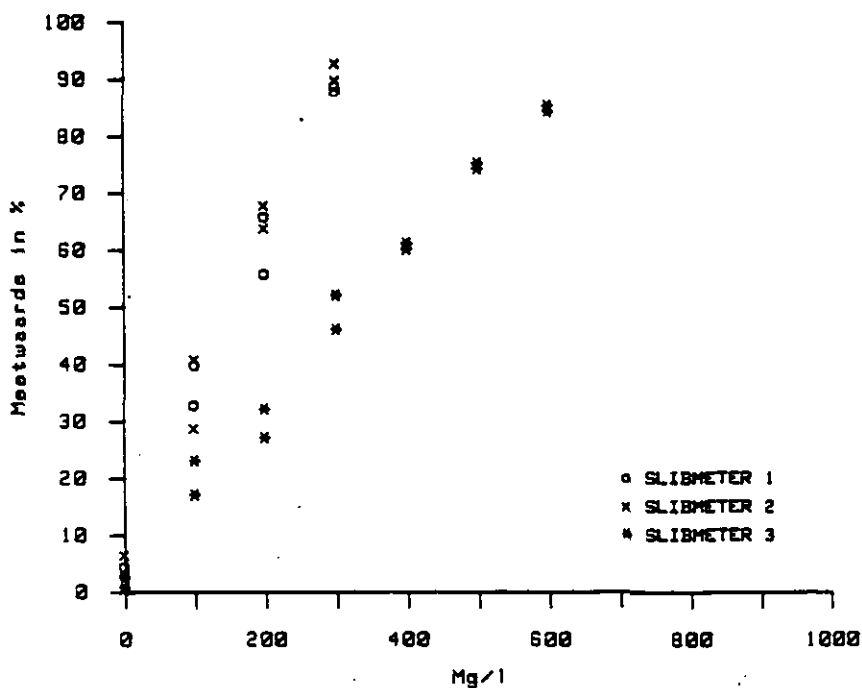
figuur 4-d  
IJking slibconcentratiemeters B3, met FORMAZINE

De resultaten van deze manier van ijken, met de ervaringen van Dhr. Van den Ouden leert ons dat de meters een afwijking vertonen die als normaal wordt verondersteld. Uit de mate van afwijking kan ook geconcludeerd worden dat alle meters werken.

Hierna zijn de slibmeters in een mengsel met China-klei (kaoliniet) van verschillende concentraties gehangen. Deze klei bevat de eigenschap dat de afmetingen van de deeltjes in dezelfde grootteklasse liggen. In tegenstelling met de formazine blijft de kaoliniet niet gemakkelijk in zwevende toestand. De ZERO- en SPAN instelling is vooraf gedaan met behulp van Markermeerwater en Markermeerslib in de concentratie van 300 mg/l (meter I en II) en 600 mg/l (meter III). Metingen met de slibmeters zijn in duplo uitgevoerd, de bevindingen zijn weergegeven in tabel 4-h en figuur 4-e.

Tabel 4-h  
Resultaten experiment B3, KAOLINIET

kaoliniet mg/l	display waarden slibmeters					
	I		II		III	
0	3	5	1	7	3	1
100	33	40	29	41	23	17
200	56	66	64	66	27	32
300	88	89	90	93	46	52
400	-	-	-	-	60	61
500	-	-	-	-	74	75
600	-	-	-	-	85	84



figuur 4-e  
IJking slibconcentratiemeters B3, met KAOLINIET

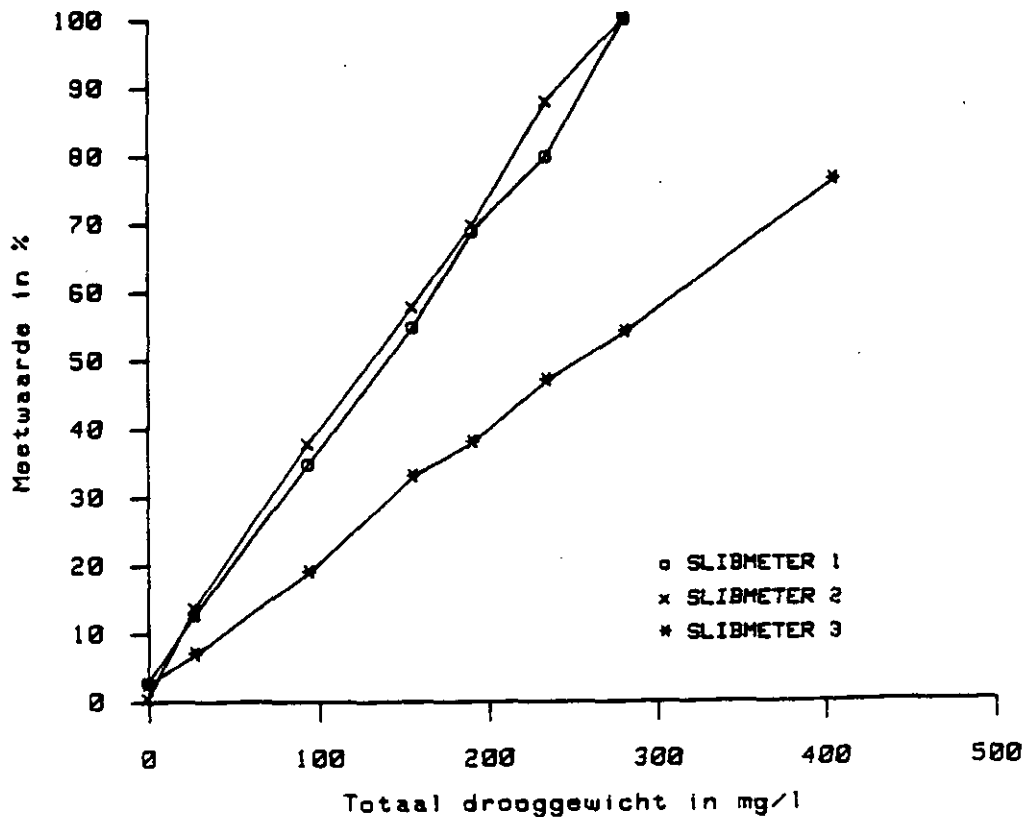
In figuur 4-e is te zien dat met name in het gebied met lage concentraties (< 400 mg kaoliniet/l), de verschillen tussen de duplo's groot

zijn.

Tenslotte zijn de sensoren in het speciale mengvat met een mengsel van Markermeerslib en Markermeerwater van verschillende concentraties gehangen, analoog aan de vorige experimenten, met als resultaat:

Tabel 4-1  
Resultaten experiment B3, SLIB

stap		SS mg/l	AS mg/l	AS' %	chl-a µg/l	SS' (%)		
						I	II	III
M	1)	27.4	15.8	58.	36	13	14	7
M	2)	28.	15.8	58.	36	-	-	-
S5		2,800.	2,300.	82.	608	-	-	-
	1	94.5	69.8	74.	50	35	38	19
	2	155.4	120.1	77.	-	55	58	33
	3	191.0	150.1	79.	-	69	70	38
	4	234.3	184.4	79.	-	80	88	47
	5	280.5	224.3	80.	-	100	100	54
	6	404.9	322.3	80.	-	-	-	76



figuur 4-f  
IJking slibconcentratiemeters B3, in speciaal mengvat.



## 5. Conclusies

Experiment A heeft een grote hoeveelheid gegevens opgeleverd, die van dienst kunnen zijn bij een eerste aanzet tot het modelleren van sliblicht relaties. De range van droge stofgehalten waarmee gemeten is, is vergeleken met de werkelijkheid onjuist. In werkelijkheid liggen de zwevende stof-concentraties in het Markermeer veel lager. Herhalen van de proef is zeker zinvol.

Experiment B is de derde maal geslaagd. De meetresultaten blijken zeer gevoelig te zijn voor de wijze waarop het experiment wordt uitgevoerd. Dit maakt de resultaten van de slibsensoren, wanneer zij in het Markermeer geïnstalleerd worden, moeilijker interpreteerbaar. Indien rekening gehouden dient te worden met de verandering in de samenstelling van de gesuspendeerde stof, is het noodzakelijk het experiment te herhalen.

### 5.1 Lichtmetingen en extinctie

Bij controle van de nauwkeurigheid van de verschillende lichtsensoren, zie paragraaf 4.1, bleek sensor L3 niet te functioneren. Indien de sensoren echter regelmatig worden schoongemaakt en gecalibreerd aan de hand van handmetingen, zijn zij goed te gebruiken. Doordat de sensoren geïntegreerd meten over het golflengte gebied van 400 tot 700 nm, zijn de resultaten steeds specifiek voor het spectrum van de gebruikte lichtbron. Het is dus niet met zekerheid te zeggen dat de bij kunstlicht gemeten extinctie-coëfficiënten overeenkomen met de bij zonlicht gemeten extinctie-coëfficiënten. De lichtsterkte van de TL-bak is niet groot, zodat alleen bij lage gesuspendeerde stof gehalten gemeten kan worden. Als gevolg van dit verschijnsel is het aantal meetgegevens beperkt. Met de gebruikte spectrofotometer is het meten van de extinctie-coëfficiënt over het gehele golflengtegebied tussen 400 en 700 nm zeer arbeidsintensief. De resultaten zijn niet altijd betrouwbaar, aangezien tijdens de meting bezinking optreedt.

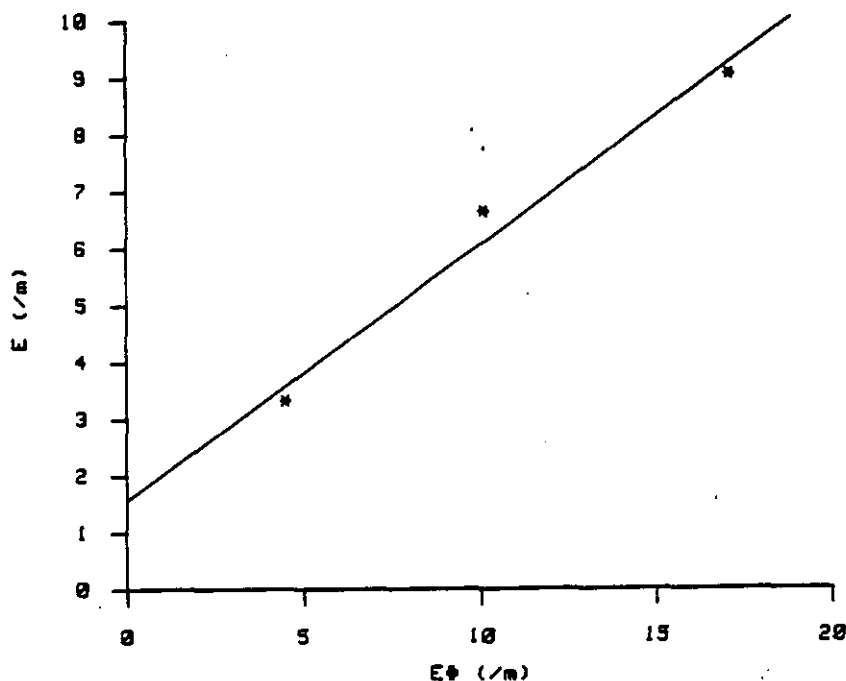
Aan de hand van de beperkte resultaten is getracht een verband te leggen tussen de extinctiecoëfficiënt  $\epsilon$ , zoals gemeten met de sensoren, en de extinctie-coëfficiënt  $\epsilon\#$ , zoals gemeten met de spectrofotometer. De gebruikte gegevens staan vermeld in tabel 4-b, het resultaat staat weergegeven in figuur 5-a.

De regressielijn heeft de volgende vergelijking:

$$\epsilon = 0.45 \cdot \epsilon\# + 1.57 \quad (5-a)$$

De bijbehorende correlatiecoëfficiënt bedraagt 0.988. Dit zegt echter niet veel, omdat de vergelijking gebaseerd is op slechts drie meetpunten. De regressielijn gaat niet door het nulpunt, dat wil zeggen dat indien  $\epsilon\#$  nul is,  $\epsilon$  dat niet is. Dit verschil zou terug te voeren kunnen zijn op het feit dat  $\epsilon\#$  tegen de referentiewaarde gemeten wordt en niet. Het verschil tussen  $\epsilon$  en  $\epsilon\#$  zou in dat geval de (achtergronds-) extinctie-coëfficiënt van een cuvet met gedestilleerd water zijn. Voor meer gefundeerde uitspraken over een dergelijk verband dienen meer meetgegevens beschikbaar te zijn. Aangezien een dergelijke vergelijking noodzakelijk is om een relatie te leggen tussen de bijdrage van een bepaalde fractie aan de extinctie-coëfficiënt en de ter plekke gemeten ex-

inctie-coëfficiënt, zie paragraaf 5.2, is het van belang een dergelijk experiment gedetailleerd te herhalen.



figuur 5-a  
relatie tussen de extinctie-coëfficiënt berekend uit  
stralingsmetingen en gemeten met de spectrofotometer

## 5.2 Fractiegrootte en -extinctie

Het aanbrenge van een onderverdeling in fracties van slijb door middel van bezinkproeven gebaseerd op afhevelen i.p.v. pipetteren en met ongeoxideerd en ongestabiliseerd slijb, heeft een aantal nadelen. De methode is arbeidsintensief en niet erg nauwkeurig. De methode bepaalt immers de grootte van een fractie, waarvan alle deeltjes in elk geval kleiner zijn dan een bepaalde grens, uitgaande van een uniforme dichtheidsverdeling. Ten eerste zullen de deeltjes bij ongeoxideerde bezinking, onderling verschillen in soortelijk gewicht en zal de samenstelling gedurende de bezinking nog veranderen door processen als coagulatie en flocculatie. Ten tweede zijn de gestelde diametergrenzen, absolute bovengrenzen. Immers de bezinktijd wordt berekend over de maximale afstand die de deeltjes moeten afleggen. Kleinere deeltjes, die in principe in een bepaalde tijd, gezien deze maximale afstand, niet zullen bezinken, kunnen wel bezinken indien zij zich onderin de waterkolom bevinden. Daar staat tegenover dat de relatie straal/bezinktijd wel kwadratisch van aard is.

Aangezien één van de doelen van deze proef het maken van een fractieverdeling is, die gebruikt kan worden bij de berekening van sedimentatie van deeltjes in situ, is het eerste punt wat dat betreft niet van be-

lang. De bezinking in een kolom komt immers overeen met de bezinking ter plaatse. Het tweede punt is wel van belang bij de interpretatie naar fracties. Het is dus van belang de kolomhoogte waarover het monster getrokken wordt, zo klein mogelijk te houden. De ondergrens wordt bepaald door de minimum hoeveelheid materiaal die nodig is, voor een nauwkeurige laboratoriumanalyse. De beide punten beïnvloeden in negatieve zin een tweede doel van deze proef, namelijk het verkrijgen van een indruk van de bijdrage aan de extinctie van diverse fracties.

De deeltjesgrootte bepaling dient regelmatig te worden uitgevoerd om een reëel beeld te geven van de fractieverdeling in situ. In open water zal de slibsamenstelling immers sterk kunnen variëren wanneer b.v. een algenbloei optreedt.

De extinctiebepalingen met de spectrofotometer zijn in duplo uitgevoerd. Het was namelijk niet mogelijk in het cuvet te roeren tijdens de meting. De waarde van de extinctiecoëfficiënt van monsters met hoge zwevende stof gehalten dienen dus enigszins sceptisch bekeken te worden.

De bezinkproeven zijn niet in duplo uitgevoerd, dit is echter wel aan te bevelen.

Opvallend aan de in de tabel 4-d gegeven resultaten, is de grote overeenkomst tussen de uitkomsten voor de fractie  $< 6 \mu\text{m}$  bij de diverse stappen. Het totaal drooggewicht van deze fractie bedraagt bij alle stappen zo'n 30 mg/l en de extinctie in het monster ligt rond de 7 á 8 /m. Aangezien deze waarden vrijwel onafhankelijk lijken te zijn van het totaal gehalte in het monster, is verondersteld dat dit gehalte en deze extinctie de achtergrondwaarden van het water in het Markermeer weergeven. Indirect is zodoende verondersteld dat de fractie  $< 6 \mu\text{m}$  in praktijk niet bezinkt, dus dat het materiaal dat na 24 uur niet bezonken is, in het geheel niet zal bezinken. Dat het hier niet alleen opgelost organisch materiaal betreft, blijkt uit het gehalte aan anorganisch materiaal van deze slibfractie; zo'n 70 %. Deze fractie zal dus bestaan uit niet bezinkbaar, gedeeltelijk opgelost materiaal, hoofdzakelijk anorganisch. Hieronder vallen dus zouten, complexen, humuszuren, etc.

Het gehalte aan anorganische stof is voor alle bezonken fracties ongeveer gelijk, zie tabel 4-d, en schommelt tussen de 68 en 77%, zonder duidelijke trend. Bij de onbezonken fracties is het anorganisch gehalte hoger; tussen de 78 en 82%. Dit is toe te schrijven aan de bijdrage van de zandfractie, die in het onbezonken monster nog aanwezig is. Gezien het feit dat de verhouding organische stof/anorganische stof voor alle bezonken fracties ongeveer even groot is, kan men veronderstellen dat de samenstelling van de fracties, en dus ook de dichtheid van alle fracties, ongeveer gelijk is.

Een tweede opmerkelijk feit is de opvallende overeenkomst tussen de resultaten van stap 7 en stap 9. De oorspronkelijke monsters zijn duidelijk verschillend maar na luttel bezinking lijkt er geen verschil meer te bestaan tussen de beide monsters. Zelfs met stap 11 zijn overeenkomsten. Dit zou impliceren dat het verschil tussen stappen 7, 9 en 11 onderling, enkel bestaat uit een toenemende hoeveelheid zwaar of goed bezinkbaar materiaal. Uit een enkele bufferbak met slib zijn de toegevoegde slibmonsters getrokken. Zou dit slechts zwaar en groot materiaal bevatten, dan zijn de resultaten van stap 4 niet te verklaren. Mogelijk ligt de oorzaak in de hoge gehalten zwevende stof waarbij de bezinkproeven zijn uitgevoerd. Naarmate de bezinking minder ongestoord verloopt, zullen de resultaten onnauwkeuriger zijn.

Om meer inzicht te krijgen in de bijdrage van een enkele fractie aan het totaal zijn de resultaten uitgesplitst per fractie en vermeld in tabel 5-a.

De bijdrage aan de extinctie per fractie is als volgt berekend;

$$\epsilon_{\#} = \epsilon_{1\#} + \epsilon_{2\#} + \epsilon_{3\#} \quad (5-b)$$

$$\epsilon_{s\#} \cdot SS = \epsilon_{1\#} \cdot SS1 + \epsilon_{2\#} \cdot SS2 + \epsilon_{3\#} \cdot SS3 \quad (5-c)$$

Ten aanzien van de achtergrondextinctie is gesteld:

$$\epsilon_{w\#} = \epsilon(< 6 \mu m)_{\#} \quad (5-d)$$

vergelijking van de droge stofgehalten van de verschillende stappen, zijn de afwijkingen ten aanzien van de afgeleide extinctie-coëfficiënten zeer klein, met uitzondering van de restfractie, fractie 3, wat voor de hand liggend is.

Indien de invloed van algenbloeien op de extinctie even buiten beschouwing gelaten wordt, kan de extinctie-coëfficiënt in oppervlaktewater berekend worden aan de hand van de volgende vergelijkingen.

$$\epsilon_{\#} = \epsilon_{w\#} + \epsilon_{s\#} \cdot SS \quad (2-b')$$

$$\epsilon_{\#} = 7.8 + 0.21 \cdot SS1 + 0.13 \cdot SS2 + 0.07 \cdot SS3 \quad (5-e)$$

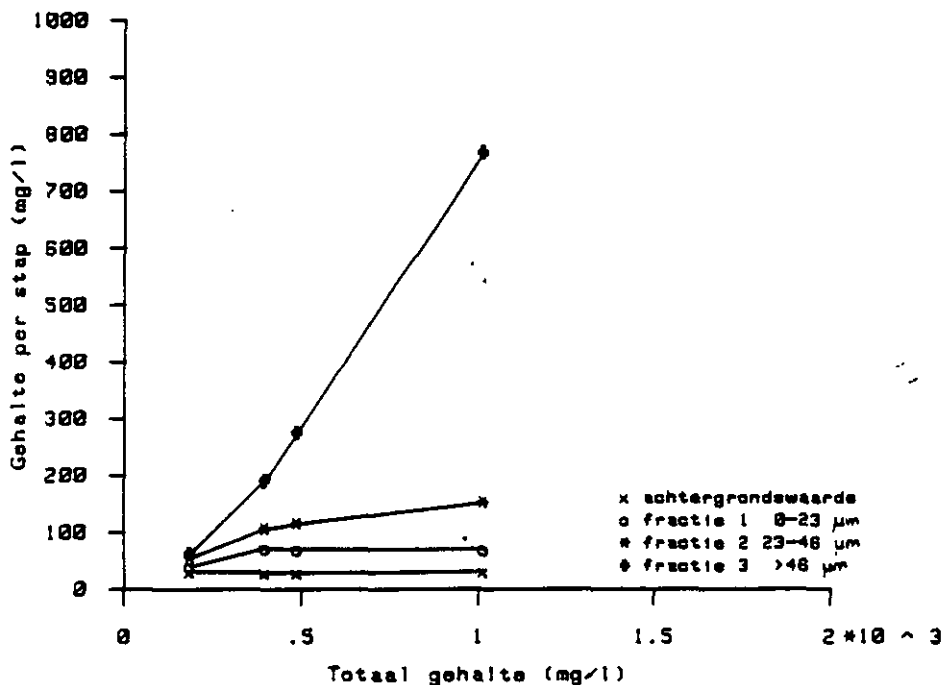
Met deze waarden voor de afgeleide extinctie-coëfficiënten is de invloed van de kleine deeltjes op de extinctie in water relatief groot. Dit komt overeen met de in hoofdstuk 2 gepresenteerde theorie.

tabel 5-a

Resultaten experiment A per fractie.

		stap 4	stap 7	stap 9	stap 11	mean
<b>onbezonden</b>						
SS	mg/l	187.	397.	487.	1014.	
<b>achtergrond ( &lt; 6 µm)</b>						
SSw	mg/l	31.	29.	29.	31.	30.
SSw'	%	17.	7.	6.	3.	8. +6.
εw#	/m	5.9	7.6	8.8	8.8	7.8 +1.2
εw#'	m2/g	0.19	0.26	0.30	0.28	0.26 ±0.05
<b>fractie 1 ( 6 - 23 µm)</b>						
SS1	mg/l	40.	72.	70.	69.	
SS1'	%	21.	18.	14.	7.	15.
TSS1'	%	38.	25.	20.	10.	
ε1#	/m	9.3	16.6	12.5	13.3	
ε1#'	m2/g	0.23	0.23	0.18	0.19	0.21±0.03
<b>fractie 2 (23 - 46 µm)</b>						
SS2	mg/l	55.	106.	115.	151.	
SS2'	%	29.	27.	24.	15.	24.
TSS2'	%	67.	52.	44.	21.	
ε2#	/m	5.7	12.8	17.3	22.0	
ε2#'	m2/g	0.10	0.12	0.15	0.15	0.13±0.02
<b>fractie 3 (46 &gt; µm)</b>						
SS3	mg/l	61.	190.	273.	763.	
SS3'	%	33.	48.	56.	75.	53.
TSS3'	%	100.	100.	100.	100.	
ε3#	/m	1.9	11.3	27.5	53.9	
ε3#'	m2/g	0.03	0.06	0.10	0.07	0.07±0.03

Gesteld kan worden dat indien de bezinkproeven in duplo en met de nodige regelmaat worden uitgevoerd, "natuurlijke" bezinking een acceptabele methode is om gesuspendeerde stof te verdelen in fracties, indien deze verdeling gebruikt wordt bij sedimentatieberekeningen. Voor de berekening van de bijdrage van elke fractie aan de uitdoving van licht in water, kan eveneens gebruik gemaakt worden van deze fractieverdeling. Voor het vaststellen van de grootte van de afgeleide extinctie-coëfficiënten zijn meer proeven nodig. De beschreven klasse-indeling is vrij arbitrair, maar voldeed niet onaardig. Een andere indeling zou waarschijnlijk tot minstens zo goede resultaten hebben kunnen leiden.



figuur 5-b  
Verhouding tussen fractiegrootte en totaal gehalte

### 5.3 Slibmetingen

Tijdens de uitvoering van de verschillende experimenten bleek steeds hoe gevoelig de sensoren zijn ten aanzien van de menging. Hoewel uiteindelijk bij experiment B.3 goede resultaten verkregen zijn, blijkt uit de voorafgaande experimenten dat voorzichtigheid geboden is bij de interpretatie van de meetresultaten.

Bij nadere beschouwing van de resultaten van experiment B.3, treden enkele opmerkelijke zaken naar voren. Zo blijkt uit figuur 4-d dat de relatie tussen de meetwaarde en het formazinegehalte niet geheel lineair is, ondanks het feit dat dit om optisch evenredige concentraties handelt. Uit nadere informatie bleek bij experimenten uitgevoerd door het WL, eveneens een dergelijke kromme te zijn waargenomen.

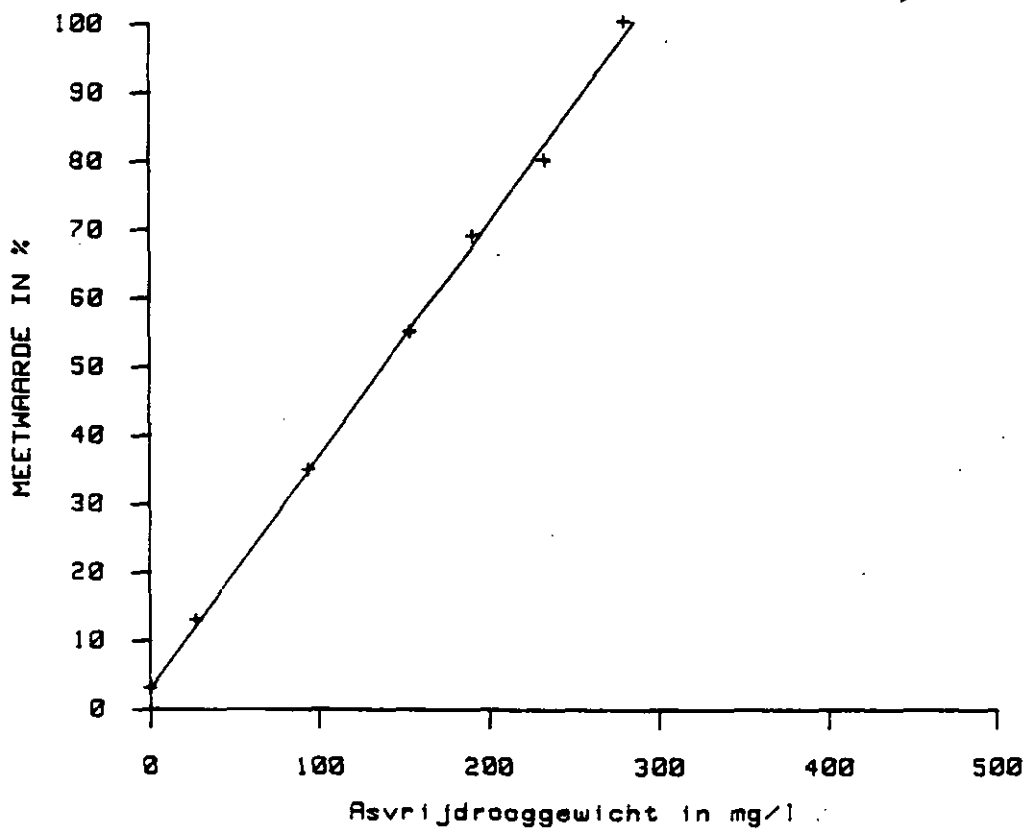
Een herhaling van de proef met kaoliniet is in duplo uitgevoerd. Met name bij de lagere gesuspendeerde stof gehalten wijken de duplo's nogal van elkaar af. Juist dit gebied is voor de toepassing in het Markermeer van belang. Het ziet er naar uit dat de sensoren op de rand van hun toepassingsgebied opereren, ten aanzien van hun gevoeligheid.

Het experiment herhaald met Markermeerslib levert uiteindelijk de beste resultaten. Deze resultaten zijn goed genoeg om een voorlopige ijklijn af te leiden. Het experiment dient aan het eind van het seizoen herhaald te worden, om correcties ten aanzien van verandering qua slibsamstelling te kunnen uitvoeren.

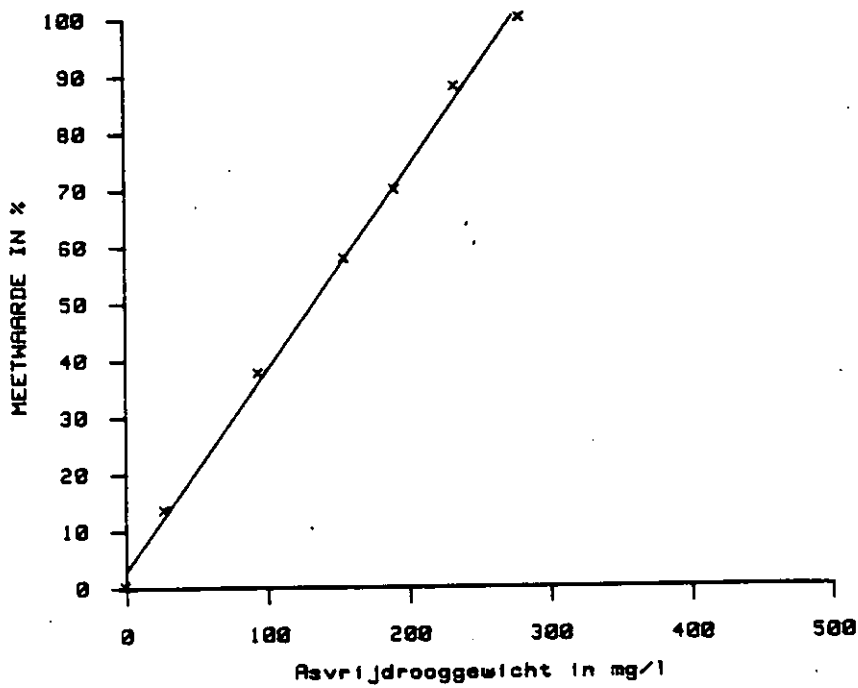
Met lineaire regressie methoden zijn de volgende vergelijkingen berekend:

$$\begin{array}{l} \text{I} : SS' = 0.34 \cdot SS + 3.03 \quad r = 0.999 \\ \text{II} : SS' = 0.35 \cdot SS + 3.03 \quad r = 0.999 \\ \text{III} : SS' = 0.18 \cdot SS + 2.70 \quad r = 0.998 \end{array}$$

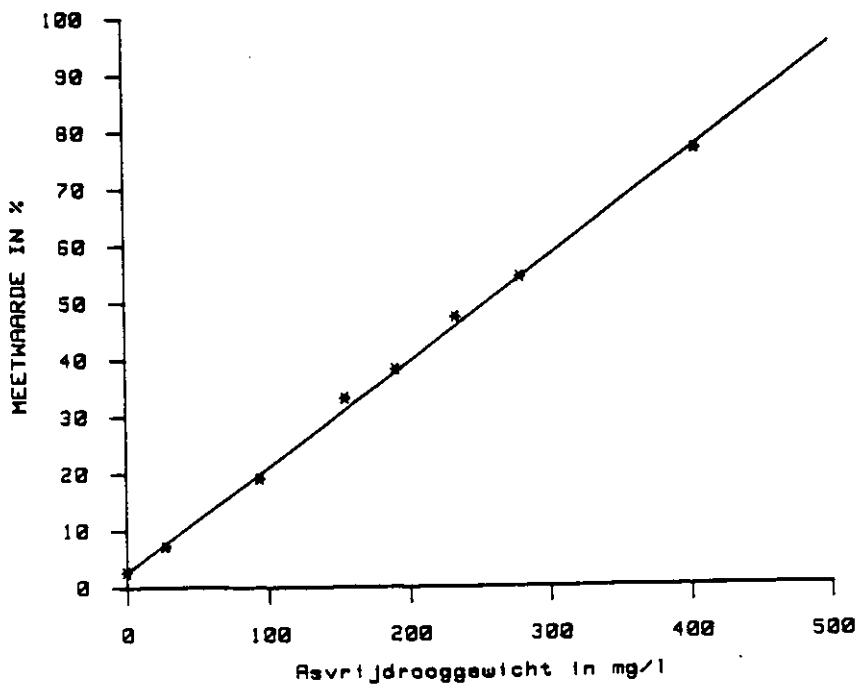
De ijklijnen zijn afgebeeld in de figuren 5-c, 5-d en 5-e.



figuur 5-c  
Regressie slibconcentratiemeter 1



figuur 5-d  
 Regressie slibconcentratiemeter 2



figuur 5-e  
 Regressie slibconcentratiemeter 3



#### 5.4. Eindconclusies

De resultaten van de in dit document beschreven experimenten, hebben geleid tot meer inzicht in de problematiek van slibfracties in relatie met extinctie. Experiment A heeft niet geleid tot een vergelijking tussen de lichtmeters en de slibconcentratiemeters, maar wel tot een vergelijking tussen spectrofotometrisch bepaalde extinctiecoëfficiënten en extinctiecoëfficiënten berekend uit gegevens van lichtcellen.

Ondanks een aantal niet gekwantificeerde fouten dat geïntroduceerd wordt bij het uitvoeren van bezinkproeven met onbehandeld slib, lijkt deze methode veelbelovend.

Experiment B3 leidde tot goede ijkingen van de slibmeters en zal voortaan snel en nauwkeurig kunnen worden uitgevoerd.

Herhaling van de proeven, na enige aanpassing en verbetering, is zinvol. Voor proeven A en B verdienen de volgende werkwijzen de voorkeur:

A. Een soortgelijke opzet als experiment A dient gemaakt te worden.

Metingen aan licht (sensoren en spectrofotometrisch), slib (sensoren en analyses), fractieverdeling door bezinking en extinctie per fractie zijn van belang, bij verschillende slibgehaltenes.

Bij de uitvoering van het experiment kan eenzelfde soort opstelling gebruikt worden, maar meer aandacht dient besteed te worden aan de menging.

Voor het slib kan beter gebruik gemaakt worden van bezonken materiaal (b.v. uit sediment vallen), dan van opgezogen sediment. Dit kan leiden tot andere fractieverdelingen, hoewel ook dan het percentage lichte deeltjes niet zal weerspiegelen wat in werkelijkheid voorkomt in de waterkolom.

- \* Gemeten dient te worden bij lagere concentraties en met veel intervallen. Extinctiebepalingen voor het bepalen van de parameters van vergelijking 5-a, dienen uitgevoerd te worden een groot aantal worden bij verschillende concentraties.
- \* Bij de bezinkproeven dient de hoogte van de uit de kolom bemonsterde schijf, klein te zijn. Tevens dienen de proeven in duplo te worden uitgevoerd, vanaf monstername tot en met spectrofotometrische extinctiemetingen. In plaats van afhevelen dient dus gepipetteerd te worden. Oxyderen, ontkalken en ontzouten kan achterwege gelaten worden. Indien de fractieverdeling gerelateerd moet worden aan de werkelijke grootte van de deeltjes, moeten dichtheidsmetingen gedaan worden. Het onderscheiden van meer dan drie fracties is zeker zinvol. Fractieverdeling zou ook kunnen naar algen, detritus en b.v. door slibfracties. Tabel 4-d dient dan uitgebreid te worden, zowel horizontaal als verticaal.
- \* Het toekennen van een specifieke extinctie-coëfficiënt per fractie heeft grote waarde voor de modelformulering. Spectrofotometrische bepalingen aan verschillende fracties is dus van belang. Het verdient aanbeveling om wat te experimenteren met de golflengte-intervallen en het optimaal aantal metingen.

B. Proef B dient herhaald te worden volgens opzet B3, zowel voor als na het meetseizoen. Ijkingen met FORMAZINE en KAOLINIET hoeven niet elk jaar herhaald te worden.

## Literatuurlijst

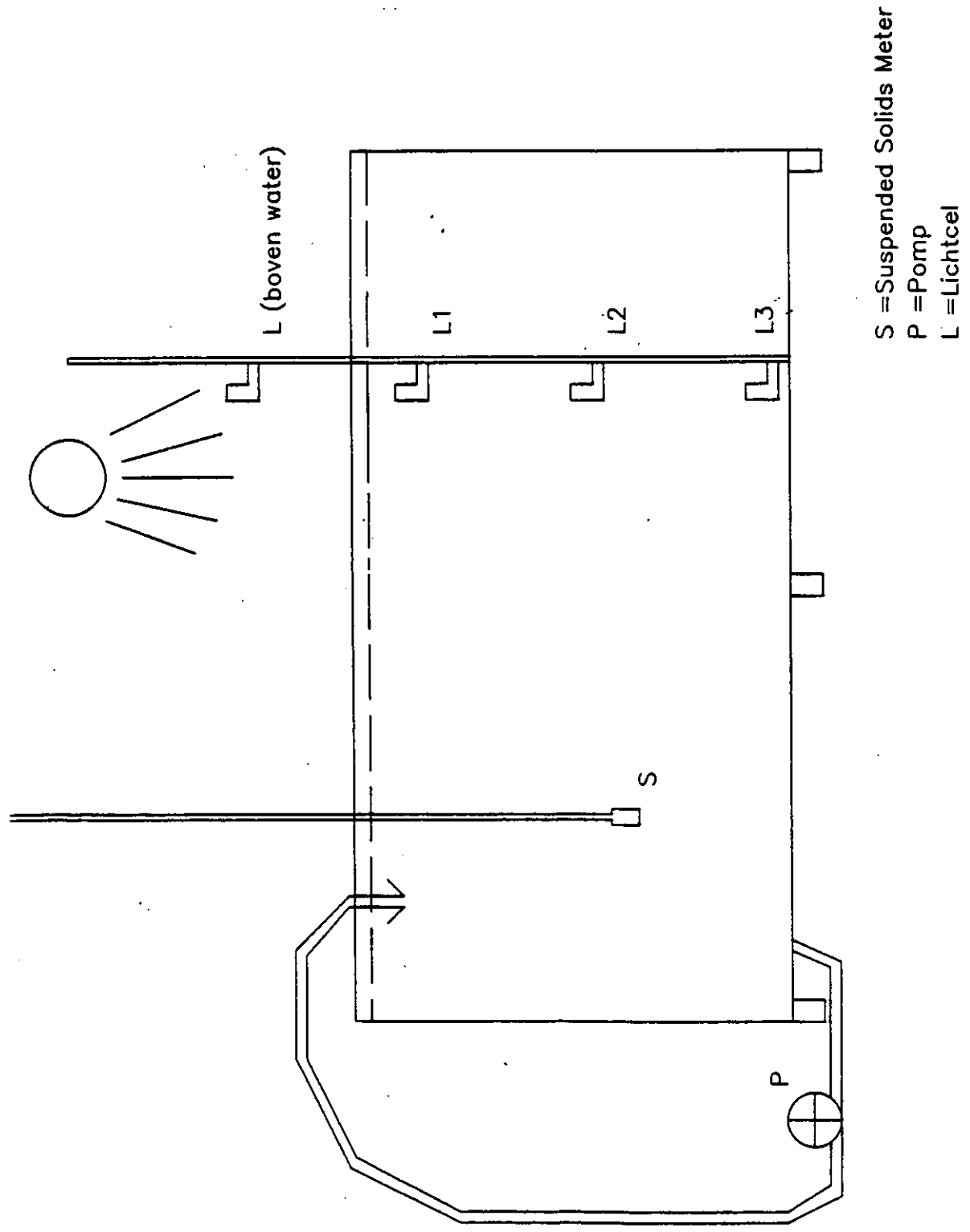
- A.G. Brinkman & W. van Raaphorst (1986) 'De fosfaathuishouding in het Veluwemeer'
- G.E. Eden (1965) 'The measurement of turbidity in water', Proc. Soc. Water Treatment and Exam., 14, p:27-44.
- R.R.J. Goetjaar (1984) 'Kwaliteitsaspecten van het retourbemalen bij de berging van baggerspecie in een grootschalige locatie op de Maasvlakte', TUD scriptie R/1984/D/1.
- H.J. Golterman, R.S. Clymo, M.A.M. Ohnstad (1978) 'Methods for Physical & Chemical Analysis of Fresh Waters', IBP Handbook 8, Blackwell Scientific Publications.
- G.E. Hutchinson (1957) 'A Treatise on limnology', Vol. 1, Geography, Physics and Chemistry. John Wiley & Sons, Inc.
- A.G. Knight (1950) 'The measurement of turbidity in water', J. Inst. Water. Eng., 4, p:449-456.
- L. Lijklema (1986) 'Systeemanalyse in waterkwaliteitsbeheer', Syllabus LUW.
- Rijp (1983) 'Explanatory memorandum on methodes of analysis for soil, organic matter, water & soli moisture', Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders.
- H.E. Rose (1951) 'The analysis of water by the assesment of turbidity', J. Inst. Water Eng., 5, p:521-545.
- D.M. diToro (1978) 'Optics of Turbid Estuarine Waters: Approximations and applications', Water Research, 12, p:1059-1068.
- WL (1076) 'Onderzoek naar de eigenschappen van slib; vooronderzoek betreffende flocculatie, sedimentatie, consolidatie en erosie', WL-rapport R 988.
- WL (1980) 'Milieuchemische aspecten van het storten van baggerslib uit de Maasmond, de Botlek- en de Waalhaven in het Oostvoornsemeer', WL-rapport M1501/49.

Bijlage A  
Symbolenlijst

AA	= gehalte algenmateriaal	$\text{g chla}/\text{m}^3$
AS	= asrest	$\text{g}/\text{m}^3$
AS'	= percentage anorganische stof van het totaal drooggewicht	%
chla	= chlorofyl-gehalte	$\mu\text{g}/\text{l}$
Cgem	= verhouding tussen de handmeetwaarde en continu- waarde	-
Cuw	= omrekeningsfactor voor onderwatermetingen	-
C2	= factor	-
d	= diameter van de deeltjes	m
DL	= dag-licht-lamp	-
$\epsilon$	= extinctie-coëfficiënt	/m
$\epsilon\#$	= spectrofotometrisch bepaalde extinctie-coëfficiënt	/m
$\epsilon a'$	= afgeleide extinctie-coëfficiënt voor algenmateriaal	$\text{m}^2/\mu\text{g chla}$
$\epsilon s'$	= " " " " slib	$\text{m}^2/\text{g}$
$\epsilon w$	= extinctiecoëfficiënt voor het water en de daarna opgeloste stoffen	/m
$\epsilon l$	= extinctie-coëfficiënt van fractie 1	/m
$\epsilon l'$	= afgeleide extinctie-coëfficiënt van fractie 1	$\text{m}^2/\text{g}$
$\epsilon(\text{DL})$	= bij DAG-LICHT-LAMP bepaalde extinctie-coëfficiënt	/m
$\epsilon(\text{HM})$	= uit handmetingen berekende extinctie-coëfficiënt	/m
$\epsilon(\text{L})$	= uit continumetingen berekende extinctie-coëfficiënt	/m
$\epsilon(\text{TL})$	= bij TL-licht bepaalde extinctie-coëfficiënten	/m
FTU	= Formazine Turbidity Unit	FTU
HM	= handmeter	-
q	= quantatieversnelling	$\text{m}/\text{s}^2$
I	= lichtintensiteit	$\text{W}/\text{m}^2$
$I_0$	= " " ,net onder het oppervlak	$\text{W}/\text{m}^2$
$I_z$	= " " ,op diepte z	$\text{W}/\text{m}^2$
L1	= lichtcel 1	-
M	= gehalte droge stof in Markermeerwater	$\text{g}/\text{m}^3$
$\rho$	= dichtheid van het water	$\text{kg}/\text{m}^3$
$\rho_p$	= dichtheid van de deeltjes	$\text{kg}/\text{m}^3$
PAR	= Photo Active Radiation	-
PFD	= Photon Flux Density	-
R	= stralingsenergie	$\mu\text{E}/\text{m}^2\text{s}$
$R_0$	= " " net onder het oppervlak	$\mu\text{E}/\text{m}^2\text{s}$
$R_2$	= " " op diepte 2	$\mu\text{E}/\text{m}^2\text{s}$
S1	= geconcentreerde slib suspensie nr. 1	-
Sc	= streefconcentratie	$\text{g}/\text{m}^3$
Ss	= gehalte in slibwater	$\text{g}/\text{m}^3$
SG	= soortelijk gewicht	$\text{g}/\text{m}^3$
SS	= gehalte aan gesuspendeerde stoffen	$\text{mg}/\text{l}$
SS'	= procentueel gehalte aan gesuspendeerde stoffen	%
SSw	= achtergrondgehalte aan gesuspendeerde stoffen	$\text{g}/\text{m}^3$
SSw'	= procentueel achtergrondgehalte aan gesuspendeerde stoffen	%
SS1	= gehalte aan gesuspendeerde stoffen van fractie 1	$\text{g}/\text{m}^3$
SS1'	= procentueel gehalte aan gesuspendeerde stoffen van fractie 1	%
SST	= totaal drooggewicht van bezonken monsters plus residu	$\text{g}/\text{m}^3$
TSS1'	= cumulatief percentage droge stof van de fracties	$\text{g}/\text{m}^3$

$\mu$	= dynamische viscositeit	kg/m.s
V1	= hoeveelheid Markermeerwater	m <sup>3</sup>
V2	= hoeveelheid slib suspensie	m <sup>3</sup>
V3	= hoeveelheid mengsel	m <sup>3</sup>
Ws	= bezinksnelheid	m/s
Z	= diepte	m

Bijlage B.1  
4-lichtbanenprincipe



### Ambient Signal Rejection

Each of the signals from this four-cycle measurement pass through a single logarithmic converter to linearize the absorption function. Each phase of the measurement is corrected for ambient light by sampling the signals with both IRED's off, then feeding the "offset" correction back to the logarithm converter.

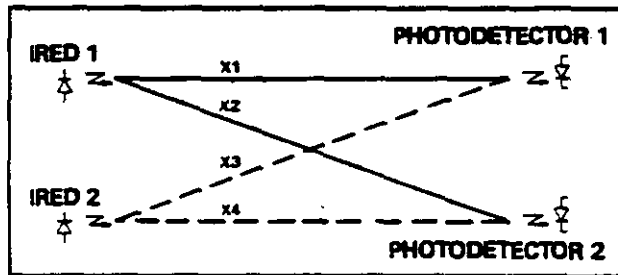


Fig. 2 Four-beam infrared operating principle

Bijlage B.3  
Instelling sensoren

Voor het instellen van de slibmeters moet eerst het nulpunt van de slibmeter ingesteld worden. Door de meter in gedestilleerd water te hangen kan op het display het "probe signal" afgelezen worden. Het probe signal gedeeld door 10 is de waarde waarop de ZERO-knop (ongeveer) afgesteld moet worden. M.b.v. een blokkeerinrichting kan deze instelling vastgezet worden. Voor het instellen van de 100%-range zijn de slibmeters 1 en 2 in de streefconcentratie van 300 mg/l en slibmeter 3 in de streefconcentratie 600 mg/l gehangen en is het probe signal afgelezen. het verschil in probe signal (max. concentr.) en probe signal (min. concentr.) gedeeld door 10 is de waarde waarop de SPAN-knop (ongeveer) ingesteld dient te worden. Ook deze knop kan vastgezet worden.

Voorbeeld:

gedemineraliseerd water	probe signal = 62.4
max. concentratie (300 of 600 mg/l)	probe signal = <u>82.0</u>
	verschil = <u>19.6</u>

Het verschil 19.6 gedeeld door 10 = 1.96.

Experiment A:	I
ZERO-instelling	6.24
SPAN-instelling	1.96

Experiment B.3:	I	II	III
ZERO-instelling	6.26	8.28	6.26
SPAN-instelling	1.33	1.33	2.48a